

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

Spécialité : **Sciences de la Terre et de l'Univers et de l'Environnement**

Arrêté ministériel : 25 mai 2016

Présentée par

« **Cyrielle Dollet** »

Thèse dirigée par **Philippe Guéguen**, Université Grenoble Alpes, et

Co-dirigée par **Jean-François Joye**, Université Savoie Mont Blanc

préparée au sein de l'**Institut des Sciences de la Terre**
dans l'**École Doctorale Science de la Terre de l'Environnement et des Planètes**

URBASIS-Décision - Modélisation des conséquences socio-économiques et juridiques d'un séisme à l'échelle urbaine

Thèse soutenue publiquement le « **26 janvier 2021** »,
devant le jury composé de :

Madame, Laurence, AUDIN

Directrice de Recherche, IRD, ISTerre, Université Grenoble-Alpes, France, Examinatrice, Présidente du jury

Monsieur, Jean-François, DREUILLE

Maître de Conférence HDR, Centre de recherche en droit Antoine Favre, Université Savoie Mont Blanc, France, Examineur

Madame, Françoise, COURBOULEX

Directrice de Recherche, CNRS, Géoazur, Université Côte-d'Azur, France, Examinatrice

Monsieur, Frédéric, MASSON

Professeur, EOST, Université de Strasbourg, France, Examineur

Monsieur, Thierry, CAMELBEECK

Professeur, Observatoire royal de Belgique, Belgique, Rapporteur

Monsieur, Fabrice, COTTON

Professeur, German Research Centre for Geosciences, Université de Postdam, Allemagne, Rapporteur

Monsieur, Philippe, GUEGUEN

Directeur de recherche, ISTerre, Université Gustave Eiffel, France, Directeur de thèse

Monsieur, Jean-François, JOYE

Professeur, Centre de recherche en droit Antoine Favre, Université Savoie Mont Blanc, France, Co-directeur de thèse



« Là où n'existe plus l'empreinte mémorielle d'une expérience précédente, le déni continue d'aveugler jusqu'aux mieux avertis ».

Ran Halévi, (2020)

« Celui qui n'a qu'un savoir spécialisé est réduit aux lieux communs généraux ».

« Le meilleur médiateur entre le scientifique et le politique reste celui qui cultive une approche globale ».

Edgar Morin, (2020)

Parmi les aléas naturels provoquant des catastrophes, les séismes sont certainement les plus dévastateurs et les plus imprévisibles alors même qu'ils sont les moins fréquents. Dans un contexte d'urbanisation croissante, les pertes économiques et humaines générées par les séismes ont considérablement augmenté, et de ce fait, l'engagement de la responsabilité représente un risque important pour les collectivités locales. Cette thèse vise à développer des modèles de pertes sociales, économiques et juridiques post-sismiques, afin d'améliorer la compréhension et la connaissance des politiques publiques relatives aux conséquences post-sismiques dans le but de déployer une politique de prévention des risques naturels mieux adaptée. Pour répondre à cette problématique, nous nous sommes intéressés aux régions où la sismicité est faible à modérée. Concernant la France, nous avons travaillé avec des décideurs publics, notamment ceux des régions Rhône Alpes Auvergne et Provence Alpes Côte d'Azur pour lesquelles le risque sismique est un enjeu majeur. Les travaux de thèse s'articulent selon trois parties : 1^{ère} définition des variables décisionnelles sur lesquelles s'appuie une politique de prévention des risques naturels ; 2^{ème} propositions d'amélioration de la modélisation des pertes sismiques ; 3^{ème} propositions pour un nouveau modèle juridique quantifiant le risque d'engagement de la responsabilité administrative.

Une première approche consiste à définir les variables décisionnelles sur lesquelles les acteurs du risque sismique peuvent mener leur politique de prévention grâce à la conduite d'une enquête réalisée en 2017-2018. Les conclusions ont mis en lumière le besoin des élus de se représenter les conséquences sociales et économiques d'un séisme sur leur territoire et l'impact de leurs décisions concernant leur politique ainsi que leur plausible engagement de la responsabilité.

Ces informations nous ont conduit à mieux adapter les modèles de prédictions des pertes sismiques (nombre de décès, de blessés et pertes économiques) selon les besoins des acteurs décisionnels. Dans cette seconde partie relative à la sismologie, nous nous attardons sur les variables d'expositions nécessaires à la modélisation des pertes sismiques. Grâce à la création d'une base de données des conséquences sismiques et à l'empreinte du mouvement du sol fournie par l'USG ShakeMaps, nous avons développé des modèles estimant la population exposée et le PIB exposé à la date du séisme. Puis des modèles d'estimation des pertes socio-économiques ont pu être produits en considérant les pertes par rapport à la population exposée et au PIB exposé, basés sur des variables liées à l'aléa et à l'exposition. Cela nous a permis de développer une base

de données synthétiques des pertes sismiques globales contribuant à améliorer la modélisation du risque sismique. Nos résultats participent à l'amélioration continue de la politique de prévention des risques naturels et à l'atténuation des risques sismiques.

Les dernières catastrophes naturelles ont mis en évidence une judiciarisation plus prononcée des personnes publiques (L'Aquila (2009), Xynthia (2010), inondations du Var (2010), inondations des Alpes Maritimes (2015)). Dans cette dernière partie, nous nous intéressons aux personnes publiques. Des règles de droit existent et permettent de rechercher les personnes responsables du préjudice ou participant à sa réalisation. La démarche qualité initiant le processus d'amélioration continue, instaurée dans les collectivités, est adaptée pour répondre à l'attente des élus en construisant un modèle de quantification des conséquences juridiques liées aux séismes, tenant compte des éléments décisionnels invariants sur lesquels le juge s'appuie. Le modèle estime la probabilité d'engagement de la responsabilité des personnes publiques en fonction de deux composantes : la quantification des conséquences sociales et économiques (définition du préjudice) et la maturité des moyens de prévention mis en place (définition du lien de causalité). Ainsi, la responsabilité est susceptible d'être engagée seulement en présence de préjudice et si un lien de causalité entre le fait générateur (séisme) et le préjudice existe. C'est dans cette logique originale et nouvelle que la sismologie et le droit administratif sont articulés pour qualifier et quantifier l'impact de la mise en œuvre des moyens de prévention et de protection, ciblés sur le risque sismique. Par conséquent, un fort préjudice et une application faible des moyens de prévention et de protection favorisent fortement à engager la responsabilité de l'administration. Ce modèle, facilement applicable, est considéré comme un outil d'aide à la décision pour les personnes publiques.

Finalement, grâce à ce processus d'estimation des pertes globales (sociales, économiques et juridiques), c'est aux décideurs publics et aux autorités locales de prescrire des mesures nécessaires afin de réduire la vulnérabilité de leur territoire face à l'aléa sismique, tout en tenant compte de la viabilité des choix stratégiques, politiques et financiers.

Amongst the natural hazards that cause disasters, earthquakes are certainly the most devastating and unpredictable, even though they are the least frequent. In a context of growing urbanization, the economic and human losses generated by earthquakes have increased considerably, and as a result, liability represents a significant risk for local communities. This thesis aims to develop models of post-earthquake social, economic and legal losses. This will help to improve the understanding and knowledge of public policies relating to post-earthquake consequences in order to deploy a better adapted natural risk prevention policy. To this purpose, we focused on moderate-to-low seismic hazard regions. Concerning France, we worked with public decision-makers, particularly those in the Rhône Alpes Auvergne and Provence Alpes Côte d'Azur regions for which seismic risk is a major issue. The thesis work is divided into three parts: 1° definition of the decision-making variables on which a natural risk prevention policy is based; 2° proposals for improving the modelling of seismic losses; 3° introduce a new legal model quantifying the risk of administrative liability.

The first approach consists in defining the decision-making variables on which seismic risk players can base their prevention policies thanks to a survey that was carried out from 2017-2018. The conclusions highlighted the need for elected officials to imagine the social and economic consequences of an earthquake on their territory and the impact of their decisions on their policies as well as their plausible commitment of responsibility.

This information allowed us to better adapt the models for predicting seismic losses (number of deaths, injuries and economic losses) according to the needs of the decision-making actors. In this second part on seismology, we focus on the exposure variables needed to modelize seismic losses. Thanks to the creation of a database of seismic consequences and the ground motion footprint provided by the USG ShakeMaps, we developed models estimating the exposed population and the exposed GDP at the date of the earthquake. Then, models estimating socio-economic losses were produced by considering the losses in relation to the exposed population and the exposed GDP, based on hazard and exposure variables. This allowed us to develop a synthetic database of global seismic losses contributing to improve seismic risk modelling. Our results contribute to the continuous improvement of the natural hazard prevention policy and to the mitigation of seismic risk.

The latest natural disasters have highlighted a more pronounced judicialization of public persons (L'Aquila (2009), Xynthia (2010), floods in the Var (2010), floods in the Alpes Maritimes (2015)). In this last part, we are interested in public persons. Rules of law exist and make it possible to seek the persons responsible for the damage or participating in its realization. The quality approach initiating the continuous improvement process, introduced in local authorities, is adapted to meet the expectations of elected representatives by building a model for quantifying the legal consequences of earthquakes, taking into account the invariant decision-making elements on which the judge relies. The model estimates the likelihood of elected officials taking responsibility on the basis of two components: the quantification of social and economic consequences (definition of the damage) and the maturity of the means of prevention put in place (definition of the causal link). Thus, liability is likely to be incurred only in the presence of damage and if a causal link between the event (earthquake) and the damage exists. It is in this original and new logic that seismology and administrative law are articulated to qualify and quantify the impact of the implementation of means of prevention and protection targeted at seismic risk. Consequently, a severely prejudice and a weak application of the means of prevention and protection strongly encourage to engage the responsibility of administration. This easily applicable model, is considered as a decision support tool for public persons.

Finally, thanks to this process of estimating overall losses (social, economic and legal), it is up to public decision-makers and local authorities to prescribe the measures necessary to reduce the vulnerability of their territory to seismic hazard, while taking into account the local context (political, strategic and financial).

Remerciements

Travailler dans les risques naturels m'a toujours fascinée. Pour autant atteindre ce but n'a pas été sans encombre. Issue d'abord d'une école d'ingénieur en optronique puis d'une réorientation en master de géophysique et de droit de la montagne, je remercie tout d'abord les personnes qui ont permis et contribué à ce parcours atypique pour atteindre mes objectifs, réaliser ces travaux de thèse et aboutir à ce manuscrit.

Je commencerais principalement par remercier Philippe GUEGUEN, directeur de cette thèse, sans qui mon but n'aurait pas pu être atteint. Je le remercie tout d'abord de m'avoir fait confiance en construisant ensemble ce projet de recherche. Par sa patience, sa bienveillance, sa pédagogie, ses électrochocs et ses compétences qui m'ont permis de progresser tout au long de ces trois années. Je le remercie pour sa générosité, son temps et sa bonne humeur inaltérable qui ont fait naître des moments agréables passés ensemble. Merci aussi pour le nombre incalculable de relectures, de corrections et de suggestions. Merci infiniment pour ton aide très précieuse.

Je tiens également à remercier Jean-François JOYE, mon encadrant en droit, sans qui la partie juridique aurait été compliquée à mener. Merci pour m'avoir guidée sur cette partie. Ses connaissances et ses retours sur la thématique juridique ont été appréciés.

Je souhaiterais également joindre à ces premiers remerciements Adrien POTHON, tout naturellement pour son implication et son aide dans ce projet de thèse. Avec lui, nous sommes partis à la conquête de l'économie et de la modélisation. Ses connaissances et son soutien ont permis de mettre en lumière les recoins de ces thématiques. Je le remercie pour sa sympathie et son dynamisme passionné.

Je tiens également à remercier les membres de mon jury pour l'intérêt porté à mes travaux de thèse et le temps qu'ils y ont consacré. A travers leur différent champ d'expertise, l'interdisciplinarité de cette thèse est montrée.

Je remercie aussi le laboratoire de recherche ISTerre pour m'avoir accueillie pendant ma thèse. Merci au PARN, principalement à Carine PEISSER pour ses discussions enrichissantes et pour l'organisation d'échanges entre les collectivités territoriales et les scientifiques. Merci aussi aux financeurs sans qui cette thèse n'aurait pu être réalisée. Merci à la Fondation MAIF et particulièrement Jean-Marc RIGOLOT, Marc TRUFFET, Alain ISAMBERT et Didier RICHARD pour leur soutien. Puis aux programmes de

recherches suivants : le programme de recherches et d'innovation H2020 de l'Union Européenne sous la bourse Marie Skłodowska-Curie (N° 813137), le financement du Labex OSUG@2020 (Investissements d'avenir, ANR10-LABX56).

De la même manière, je souhaite remercier la Métropole de Nice Côte d'Azur, notamment Mr. ESTROSI président de la métropole Nice Côte d'Azur et Yannick DORGIGNE chef du Service Risques Majeurs de la Direction de la Prévention et de la Gestion des Risques, ainsi que Grenoble Alpes, notamment Mr. FERRARI président de Grenoble-Alpes Métropole et Vincent BOUDIERES responsable du Service Mission Risques, puis la ville de Grenoble, particulièrement Nathalie CHAVANIS et Laure CHIREUX du Service Sécurité Civile pour m'avoir permis d'étendre mes travaux de recherche et pour leur forte implication. Cette implication des décideurs publics a garanti la compatibilité des développements proposés dans cette thèse avec les besoins du terrain. Merci aussi aux élus avec qui j'ai pu collaborer pendant ces trois années qui ont accepté de participer à cette recherche. Vos implications ont pu apporter une compétence institutionnelle additionnelle et/ou complémentaire aux travaux de thèse.

N'oublions pas non-plus les copains du laboratoire qui participent à la réalisation de cette thèse au travers de la bonne humeur propagée. Je remercie les copains du Gâteau du vendredi avec qui nous avons pu confirmer les talents pâtisseries de tous. Un grand merci très affectueux, particulièrement, à mes trois fidèles compères Noélie, Hugo et Gaëlle, avec qui j'ai adoré partager ces trois années de thèse, qui ont toujours su égayer mes journées à travers leur bonne humeur et les moments de complicité en dehors du laboratoire. Je commencerais par Noélie, ma partenaire dans cette aventure et dans bien d'autres. Merci pour ce partage, cette folie, ces spectacles de danse réalisés dans les couloirs et bien entendu pour toutes ces discussions toutes aussi intéressantes. Puis je souhaiterais remercier mon co-bureau Hugo, pour sa patience et ses moments d'éclat de rire grâce à ses blagues et ses punch lines. Il va sans dire aussi, merci à ses oreilles d'avoir pu écouter pendant ces trois années mes chants, bien qu'ils soient faux ! Merci à tous les deux de me suivre dans les aventures qui n'ont ni queue ni tête. Enfin je souhaiterais remercier Gaëlle, pour son soutien et son aide certes, mais surtout pour son palais gustatif qui nous a bien sauvé, notamment à Vienne. Grâce à elle, la cuisine n'a plus de secret et l'aventure culinaire peut continuer !

A ces personnes se rajoutent les plus importants, les membres de ma famille.

Premièrement, merci à toi, Baptiste, mon compagnon de vie, pour ta patience, ta curiosité, ton soutien indéfectible, ta compréhension de ma folie et ta confiance inaltérable, toujours présent pour me motiver. Ta curiosité, ton énergie et ton enthousiasme m'ont permis de m'ouvrir vers d'autres horizons. Sans oublier cette capacité à tolérer mes goûts musicaux (Remercions Gigi !!). Tout simplement, un merci

rempli de tendresse à toi Baptiste, celui qui parcourt pas à pas ce chemin rempli d'aventures à mes côtés.

Je souhaiterais également remercier ma famille, pour leur soutien infaillible et pour me motiver durant toutes ces années. Merci à ma mère, ma première fan, Denise, pour ses conseils avisés et ses critiques pertinentes afin d'aller de l'avant. Merci pour cette compréhension, cette écoute, cette joie et cet optimisme transmis, ces films de Noël partagés et pour nos moments off. Merci à mon père, Bruno, et à mon frère, Kévin, pour leur accompagnement sans faille, leur bienveillance précieuse, leur soutien inébranlable, leur confiance et les séances de pickleball. Je pense aussi à ma belle-sœur, Agathe, pour son altruisme, son réconfort et son enthousiasme contagieux. Je remercie aussi ma belle-famille, pour leur soutien, le dépaysement dans la Drôme, les aventures à Paris, au Rove ou à Toulouse et l'affection qu'ils me portent. Je remercie notamment mes beaux-parents, Catherine et Daniel, pour la place laissée sous l'escalier pendant le confinement (;)), l'entraînement sportif, leur énergie et le partage de beaux moments pendant cette période. Grâce à eux, cette période a été plus facile.

Je remercie enfin mes amis, Nelly, Sandra, Méline, Bétina, Marie-Sophie, Clothilde, Manu, Johann, Mathieu, Théo, Pia, Vincent, et tant d'autres, qui ont été là pour moi, abonnés à mes aventures et toujours attentionnés. Merci à eux de supporter tous mes plans qui n'ont pas forcément des résultats positifs, notamment Nelly, toujours présente et motivée pour tester de nouvelles activités et idées. Merci à elle, d'être à mes côtés pour laisser l'ivresse musicale nous envahir en la vivant grâce à la danse.

A toutes ces personnes, merci !

Avant-propos : une thèse interdisciplinaire

A propos de la prévention des risques naturels, plus spécifiquement du risque sismique, de nombreuses méthodes empruntées à la sismologie sont utilisées. La sismologie permet notamment de définir le risque sismique en zone urbaine, incluant à la fois la définition de l'aléa, la réponse des structures et leur vulnérabilité, et l'estimation des conséquences. Les résultats de ces analyses sont considérés comme une brique du processus de décision pour la gestion du bâti existant et de la politique de prévention. Toutefois, force est de constater que peu d'actions concrètes de prévention ont été entreprises par les collectivités territoriales ou ont reçu des suites significatives malgré l'abondance d'études et de diagnostics de vulnérabilité (Cinotti et al., 2019). Ainsi, il s'avère important d'avoir recours à une approche différente pour accompagner chaque acteur dans la mise en place d'une stratégie de réduction du risque. L'angle de la responsabilité administrative qui a été suivi dans ce travail semble mobiliser les collectivités territoriales à conduire des missions de réduction de vulnérabilité puisqu'elles prennent conscience qu'elles peuvent engager leur responsabilité en cas de sinistre.

La prévention des risques naturels appelle à un décloisonnement des savoirs disciplinaires. Cette thèse, intitulée « Modélisation des conséquences socio-économiques et juridiques d'un séisme à l'échelle urbaine », aborde et imbrique deux champs disciplinaires différents – Sismologie et Droit – dans le but d'avoir à la fois une approche sismologique et une approche juridique concernant l'analyse du risque sismique. L'objectif et l'originalité de ce travail de recherche interdisciplinaire est de dépasser la frontière entre ces deux disciplines dans le but de contribuer ensemble à une problématique complexe commune comme le souligne Morin (1994), Darbellay et Paulsen (2008) ou encore Darbellay et al. (2016). En effet, ce travail met au centre de sa démarche scientifique, « l'objet d'étude au lieu des disciplines d'appartenance » et les limites associées (Klein, 1984 ; Taché et al., 2011).

Dans le contexte actuel, le projet de loi de programmation de la recherche 2021-2030 renouvelle sa volonté de se diriger vers une multiplication des savoirs grâce à la création de projets interdisciplinaires (MESRI, 2020). La thèse s'inscrit dans cette volonté et répond aux enjeux de la connaissance et à un besoin politique. Ce travail de recherche associe des données et des méthodes sismologiques à des théories et des concepts juridiques dans le but de créer un outil d'aide à la décision (modèle de conséquences

juridiques) pour lequel le rôle des disciplines passe « au-delà de la simple juxtaposition » (HCERES, 2018).

Cependant, la pratique de l'interdisciplinarité est un défi comme le rappelle Meilliez (Galochet et al., 2008), en particulier par des difficultés de légitimation et de positionnement de la démarche au sein de la communauté scientifique comme le soulève Bühlera et al., (2006).

La problématique de l'amélioration de la prévention des risques naturels étant irréductible à une seule dimension (Klein, 1984), ce travail de recherche a fait appel à l'interdisciplinarité. Au travers de cette thèse, des savoirs différents sont accumulés, des méthodologies de chaque discipline sont enrichies et unies et des regards hétéroclites ont été partagés afin de caractériser l'objet de la recherche, de témoigner d'un intérêt commun et de répondre à un impératif des politiques dans une logique de complémentarité.

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	5
Remerciements	7
Avant-propos : Une thèse interdisciplinaire.....	11
Liste des abréviations.....	19
1 Introduction	23
Problématique	23
Structure et Contenu	34
2 Le risque sismique en France : point de vue des acteurs et gestionnaires.....	39
2.1 Introduction	39
2.2 Méthode et données	42
2.3 Résultats.....	43
2.3.1 Vis-à-vis de la prévention	43
2.3.2 Vis-à-vis de la réglementation.....	47
2.3.3 Vis-à-vis de l'information.....	49
2.3.4 Vis-à-vis de la gestion institutionnelle des risques naturels.....	51
2.3.5 Vis-à-vis de la responsabilité juridique	54
2.4 Analyses	61
2.4.1 Les élus face au risque sismique.....	61
2.4.2 Vulnérabilité ou résilience.....	62
2.4.3 Prises de décision	64
2.4.4 Un point sur l'assurance CATNAT	65
2.5 Résumé et conclusions.....	67
3 Global occurrence models for human and economic losses due to earthquakes (1967-2018) considering exposed GDP and population	71
3.1 Introduction	71
3.2 Data related to hazard and consequences	74

3.2.1	Consequence-related data	74
3.2.2	Hazard-related data	78
3.3	Data related to exposure.....	80
3.3.1	Exposed population.....	80
3.3.2	Exposed GDP	81
3.4	Tests on the variation of Pop_{exp} by intensity and year.....	83
3.4.1	Exposed population for a sub-set of earthquakes	83
3.4.2	Prediction of the A _{exp} and Pop _{exp} for a given Magnitude/Depth pair.....	86
3.5	Discussion on the catalogue completeness	88
3.6	Discussion on annual rate of exceedance of L\$ and F.....	91
3.7	Conclusions.....	95
4	Base de données synthétiques des pertes sismiques mondiales et modèle d'occurrence empirique.....	97
<hr/>		
4.1	Introduction	98
4.2	Données	100
4.3	Méthode	102
4.3.1	Test des modèles.....	103
4.3.2	Etape 1 – Conversion des magnitudes en intensité épacentrale	104
4.3.3	Etape 2 – Conversions des I0 en aire exposée par intensité	107
4.3.4	Etapes 3 et 4 – Modèles des pertes.....	112
4.3.4.1	Modèle de prédiction des pertes économiques (L\$2016) versus I0 et GDP _{exp}	113
4.3.4.2	Modèle de prédiction des victimes F en fonction de I0 et POP _{exp}	116
4.3.4.3	Modèle de prédiction des blessés J en fonction de I0 et POP _{exp}	118
4.4	Construction de la base synthétique	120
4.5	Taux annuel d'excédance des pertes	124
4.6	Conclusions.....	127
5	Risques naturels et régime de responsabilité des personnes publiques	129
<hr/>		
5.1	Introduction	129
5.2	Droit administratif national et européen vis-à-vis des risques naturels.....	131
5.2.1	L'impact de la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales pour les risques naturels	131
5.2.1.1	Le développement de la jurisprudence européenne en matière de droit à l'environnement	131

5.2.1.2 Une augmentation des programmes internationaux de mitigation	135
5.2.2 Responsabilité administrative en matière de risques naturels	136
5.2.2.1 Le droit de l'environnement en tant que source du droit des risques naturels	136
5.2.2.2 Renforcement de la responsabilité administrative et politique nationale de prévention des risques naturels	137
5.3 Logique de l'engagement de la responsabilité administrative	138
5.3.1 Prémisses du régime de la responsabilité administrative	138
5.3.2 La répartition des compétences juridictionnelles en termes de responsabilité administrative	140
5.3.3 Les conditions d'engagement de la responsabilité administrative	140
5.3.3.1 Le préjudice	142
5.3.3.2 Le lien de causalité	143
5.3.3.3 L'atténuation de la responsabilité de l'administration	144
5.3.4 Les différents acteurs publics concernés	148
5.3.4.1 L'Etat	149
5.3.4.2 Le niveau décentralisé	150
5.3.4.3 La commune	150
5.3.4.4 L'expert scientifique	152
5.4 L'appréciation des différentes responsabilités de l'administration vis-à-vis du risque naturel	154
5.4.1 L'engagement de la responsabilité devant le juge administratif	154
5.4.1.1 La responsabilité pour faute	154
5.4.1.2 Le recul de la faute lourde au profit de la faute simple	157
5.4.1.3 Faute dans le domaine des risques naturels	159
5.4.2 Les avancées de la responsabilité sans faute	162
5.4.2.1 Responsabilité sans faute fondée sur la notion de risque	163
5.4.2.2 Responsabilité sans faute fondée sur la rupture d'égalité devant les charges publiques	163
5.4.2.3 Cas de responsabilité sans faute en matière de risques naturels	163
5.5 La responsabilité pénale en matière de risques naturels	164
5.5.1 La responsabilité pénale en matière de risques naturels	164
5.5.1.1 Caractères généraux de la faute	165
5.5.1.2 Le délit non-intentionnel retenu en matière de risques naturels	165
5.5.2 Infractions susceptibles d'être sanctionnées en matière de risques naturels	166
5.5.2.1 Homicide ou blessures involontaires	166
5.5.2.2 Mise en danger de la vie d'autrui	168
5.6 Résumé et conclusions	169

6 Analyse de la responsabilité des décideurs publics : cas du séisme de L'Aquila (2009, Italie) et cas de la tempête Xynthia (2010, France)..... 171

6.1 Introduction	171
6.2 Le cas d'un séisme : L'Aquila, Italie, 2009.....	172
6.2.1 Les faits.....	172
6.2.2 Dommages et préjudices	174
6.2.3 L'enquête.....	175
6.2.3.1 Rappels de la législation italienne en matière de risques naturels	176
6.2.3.2 Fonctionnement scientifique de la Commissione Nazionale Grandi Rischi (CGR).....	177
6.2.3.3 Déroulé administratif de la séquence de L'Aquila.....	178
6.2.4 Les fautes retenues et les responsabilités pénales engagées	179
6.2.4.1 La procédure pénale	180
6.2.4.2 La procédure pénale en appel.....	184
6.2.4.3 La Cour de cassation.....	185
6.2.5 Etapes du processus décisionnel du juge vis-à-vis des responsabilités pénales	185
6.3 Le cas d'une tempête : Xynthia, France, 2010.....	190
6.3.1 Les faits.....	190
6.3.2 Dommages et préjudices.....	191
6.3.3 L'enquête.....	192
6.3.3.1 Contexte réglementaire et juridique	192
6.3.3.2 Déroulé administratif de la séquence Xynthia à la Faute-sur-Mer	192
6.3.4 Les fautes retenues et les responsabilités engagées	194
6.3.4.1 Le contentieux pénal	195
6.3.4.2 Le contentieux administratif	198
6.3.5 Etapes du processus décisionnel du juge vis-à-vis des principales responsabilités pénales et administratives	201
6.4 Résumé et conclusions.....	205

7 Modélisation de l'engagement juridique de la responsabilité administrative en cas de séisme **209**

7.1 Introduction	210
7.2 Les éléments d'appréciation du juge administratif.....	211
7.2.1 Selon les défauts retenus.....	211
7.2.2 Selon le préjudice.....	213
7.2.3 Selon le cadre réglementaire et administratif.....	213
7.2.3.1 La France dans le cadre d'actions de Sendai.....	213

7.2.3.2 Le dispositif du Fonds Barnier	214
7.2.3.3 Le cadre d'actions CAPRIS	215
7.2.4 Synthèse des éléments d'appréciation du juge administratif	216
7.3 Définition du modèle	217
7.3.1 La fonction moyens selon la démarche d'amélioration continue de la qualité	218
7.3.1.1 Indicateurs de la matrice Moyens.....	220
7.3.1.2 Cotations des indicateurs	225
7.3.1.3 Evaluation de α_{Moyens}	228
7.3.2 Diagramme de Farmer et principe ALARP	229
7.3.3 Conclusions	233
7.4 Exemple d'application du modèle	234
7.4.1 La tempête Xynthia.....	234
7.4.2 La séisme de L'Aquila.....	235
7.5 Résumé et conclusions.....	237
8 Prédications des conséquences économiques, sociales et juridiques à Nice et Grenoble	239
<hr/>	
8.1 Introduction	240
8.2 Définition.....	241
8.2.1 Territoire actif.....	241
8.2.2 Territoire passif.....	241
8.2.3 Représentation ALARP des territoires	242
8.3 Le cas d'un territoire actif : Métropole Nice Côte d'Azur.....	243
8.3.1 Contexte.....	243
8.3.2 Pertes sociales et économiques.....	244
8.3.2.1 Estimation des pertes socio-économiques	244
8.3.2.2 Analyse du préjudice	247
8.3.3 Engagement de la responsabilité administrative.....	247
8.3.3.1 Analyse des moyens de prévention et de protection	247
8.3.3.2 Probabilité d'engagement de la responsabilité administrative....	249
8.4 Le cas d'un territoire actif : Ville de Grenoble et Grenoble-Alpes Métropole	251
8.4.1 Contexte.....	251
8.4.2 Pertes sociales et économiques.....	252
8.4.2.1 Estimation des pertes socio-économiques	252
8.4.2.2 Analyse du préjudice	255
8.4.3 Engagement de la responsabilité administrative.....	256
8.4.3.1 Analyse des moyens de prévention et de protection	256
8.4.3.2 Probabilité d'engagement de la responsabilité administrative....	257
8.5 Résumé et conclusions.....	259

9	Conclusions et perspectives.....	261
	9.1 Conclusions.....	261
	9.2 Perspectives.....	263
	Bibliographie	267
	Liste des données et des ressources.....	291
	Liste des textes légaux	295
	ANNEXES.....	299
	ANNEXE I Enquêtes	301
	ANNEXE II Jurisprudences relatives aux risques naturels (hors cas de force majeure) : application de décision	311
	ANNEXE III Exemples d'application du modèle de prédiction des conséquences juridiques	321
	ANNEXE IV Auto-évaluation de la qualité des moyens de prévention et de protection	329

3 Liste des abréviations

AJDA	Actualité Juridique du Droit Administratif
ALARP	As Low As Reasonable Practicable
AMC	Analyses MultiCritères
ANAES	Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé
ASA	Association Syndicale Autorisée
ASVL	Association Syndicale de la Vallée du Lay
AVIF	Association d'aide aux Victimes des Inondations de la Faute-sur-Mer
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Bull. crim.	Bulletin des arrêts de la chambre criminelle de la Cour de cassation
Bull. civ.	Bulletin des arrêts de la chambre civile de la Cour de cassation
C.	Code (ex. C. civ. : code civil, C. env. : code de l'environnement, CGCT : code général des collectivités territoriales, C. pén. : code pénal, C. urb. : code de l'urbanisme, C. cons. hab. : code de la construction et habitation etc.)
CA	Cour d'Appel
CAA	Cour Administrative d'Appel
CAPRIS	Cadre national d'Actions pour le Prévention du Risque Sismique
Cass. / C. cass.	Cour de cassation
CE	Conseil d'Etat
CEDH	Cour Européenne des Droits de l'Homme
CEPRI	Centre Européen de Prévention du Risque Inondation
CEREMA	Centre d'Etudes et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CERTU	Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
CESDH	Convention Européenne de Sauvegarde des Droits de l'Homme
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales

CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
CGR	Commission des Grands Risques
Cne.	Commune
COPRNM	Conseil d'Orientation pour la Prévention des Risques Naturels Majeurs
Crim.	Chambre criminelle de la Cour de cassation
DDRM	Dossier Départemental des Risques Majeurs
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DICRIM	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EMS	Echelle Macrosismique Européenne
FEMA	Federal Emergency Management Agency
GDR	Gestion Des Risques
GEMAPI	Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations
HAS	Haute Autorité de Santé
HCERES	Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur
HCFRN	Haut Comité Français pour la Résilience Nationale
HCFCF	Haut Comité Français pour la Défense Civile
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IFACI	Institut Français de l'Audit et du Contrôle Interne
IGF	Inspection Générale des Finances
INGV	Institut National de Géophysique et de Volcanologie
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
IAEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique
ISTAT	Istituto nazionale di statistica
JORF	Journal Officiel « Lois et Décret » de la République Française
LOLF	Loi Organique relative aux Lois de Finance
MAPTAM	Modernisation de l'Action Publique Territoriale et d'Affirmation des Métropoles

MCTRCT	Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales
MEDDTL	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
MEEM	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer
MESRI	Ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation
MRN	Mission Risques Naturels
MTES	Ministère de la Transition Écologique et Solidaire
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ORSEC	Organisation de la Réponse de Sécurité Civile
PADD	Projet d'Aménagement et de Développement Durable
PAPI	Programme d'Actions de Prévention des Inondations
PC	Permis de Construire
PCS	Plan Communal de Sauvegarde
PDCA	Plan, Do, Check, Act
PFL	Projet de Loi Finance
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PLUI	Plan Local d'Urbanisme Intercommunal
PPRN(P)	Plan de Prévention des Risques Naturels (Prévisibles)
PPRI	Plan de Prévention des Risques Inondations
SCOT	Schémas de Cohérence Territoriale
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des eaux
SDIS	Services Départementaux d'Incendie et de Secours
SPIC	Service Public Industriel et Commercial
STATBEL	Direction générale Statistique de Belgique
TA	Tribunal Administratif
TC	Tribunal des Conflits
T. corr.	Tribunal Correctionnel
TFUE	Traité sur le fonctionnement de l'Union européenne
TGI	Tribunal de Grande Instance

ZAC

Zone d'Aménagement Concerté

1.1 Problématique

Parmi les aléas naturels provoquant des catastrophes, les séismes sont certainement les plus dévastateurs et les plus imprévisibles alors même qu'ils sont les moins fréquents : ils correspondent à 15% des événements mais 78% de pertes humaines et 45% des pertes économiques des événements recensés sur la période 2001-2015 (EMDAT, 2018).

La Figure 1.1. montre les pertes économiques en dollars US relatives aux dommages causés par des catastrophes naturelles (EMDAT, 2018) depuis 1900. A la première place, se situe le séisme et le tsunami de Tohoku (Japon) de 2011 qui a coûté environ 320 milliards de dollars (dollars US de 2017), soit approximativement 4% du produit intérieur brut (PIB) du pays de cette année-là. Le séisme de Kobe (Japon) en 1995 se positionne en troisième place avec une perte économique estimée à 160 milliards de dollars, soit 1,9% du PIB. Le séisme du Sichuan (Chine) de 2008 a provoqué une perte économique d'environ 180 milliards de dollars, dans une région pourtant pauvre contribuant à hauteur de 3% du PIB. Dans le bassin méditerranéen, le séisme d'Irpinia (Italie) en 1980 est aussi référencé comme une des catastrophes naturelles les plus coûteuses provoquant des pertes économiques de 30 milliards de dollars.

Economic losses (in \$ USD 2017) related to damage caused by natural disasters (1900-2016)



Drought, floods, epidemics, heat waves, landslides, forest fires, volcanic activities and earthquakes.

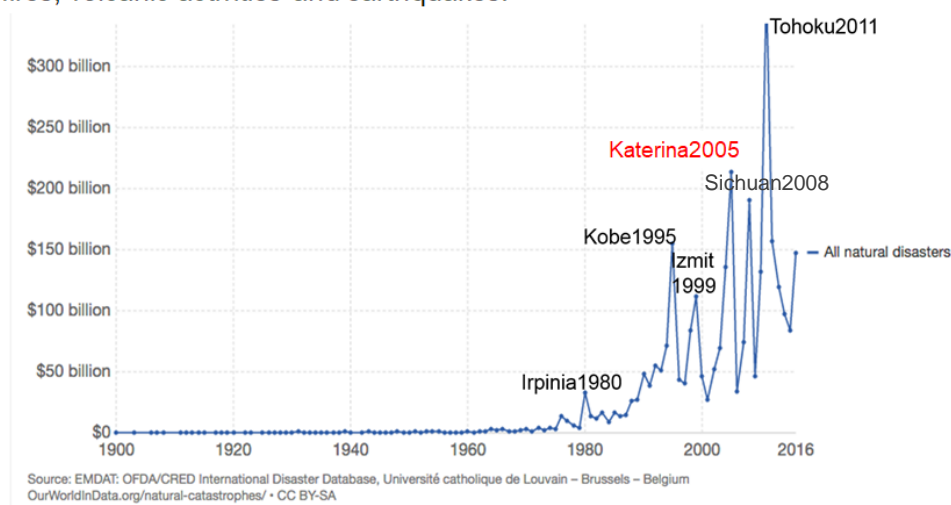


Figure 1.1. Pertes économiques cumulées en US\$ par an liées aux catastrophes naturelles de 1900 à 2016. Sont indiqués les événements sismiques qui ont le plus contribué ainsi que la tempête Katerina.

Associés à la vulnérabilité des bâtiments et à une forte exposition sociale, les séismes constituent une menace pour les sociétés. En effet, depuis 1900, les séismes ont fait plus de 2 millions de victimes et plus de 28 millions de blessés selon la base de conséquences EM-DAT (2020). La Figure 1.2. montre le taux (τ) des victimes (F) et des blessés (J) liés aux séismes enregistrés dans la base EM-DAT par période de 20 ans ou par magnitude par rapport au nombre total des pertes sur la période 1900-2020. Ces résultats montrent que les séismes récents impactent de plus en plus la société (9% de victimes entre 1940-1960 contre 31% entre 2000-2020 ; 4% de blessés entre 1940-1960 contre 53% entre 2000-2020). De plus, même les petits séismes de magnitude modérée (entre [5 ;7] contribuent significativement aux pertes sociales représentant 36% des victimes et 44% des blessés (EM-DAT, 2020). Le Fonds monétaire international FMI (Riedel, 2016) et l'analyse de la base de conséquences EM-DAT confirment que les pertes sismiques augmentent : la période 2000-2020 représente 66% de pertes économiques totales enregistrées depuis 1900 et les séismes modérés représentent 49% des pertes économiques totales (EM-DAT, 2020). Le nombre d'événements sismiques potentiellement dommageables par an, issu de la base ISC-GEM (Di Giacomo et al., 2018), reste constant sur la période 1900-2016, comme le témoigne la distribution de la Figure 1.3. Finalement, l'augmentation des pertes sociales et économiques est la conséquence d'une vulnérabilité et d'une exposition des sociétés qui évoluent avec le temps. En effet, la croissance démographique et la concentration des personnes dans les territoires urbains les plus exposés participent à ce constat (Coburn et Spence, 2002 ; Huppert and Sparks, 2006 ; Jackson 2006).

1 Introduction

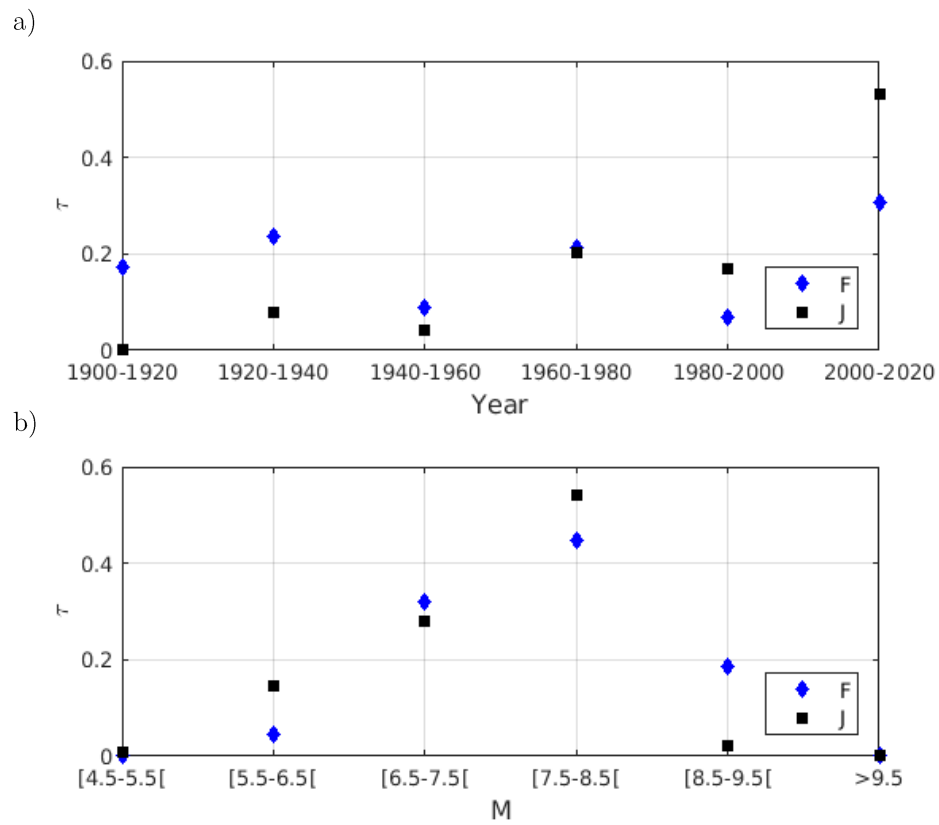


Figure 1.2. Taux (τ) des victimes (F) et des blessés (J) liés aux séismes par période de 20 ans (a) ou par magnitude (b) par rapport au nombre total sur la période 1900-2020. Les données sont issues de la base de conséquences EM-DAT (2020).

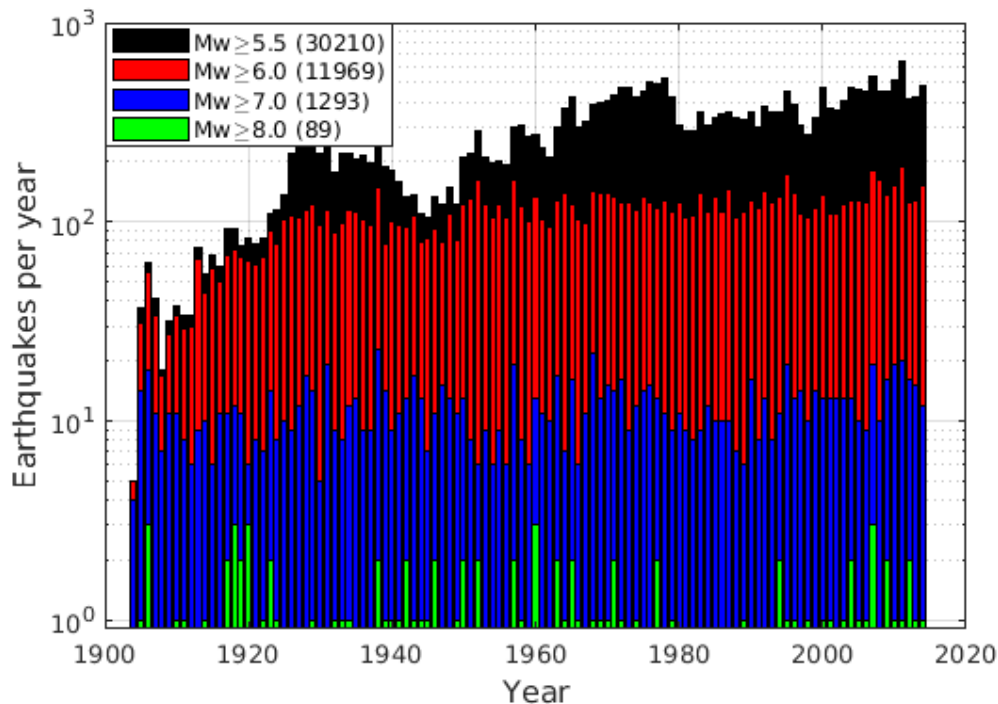


Figure 1.3. Distribution des séismes par magnitude au cours du temps. Nombre annuel cumulé de tremblements de terre pour $M_w \geq 5.0$ (noir), $M_w \geq 6.0$ (rouge), ≥ 7.0 (bleu) et ≥ 8.0 (vert). Entre les parenthèses, est indiqué le nombre de séismes (source ISC-GEM).

Selon les perspectives des Nations Unies (2020) portant sur l'urbanisation à l'échelle mondiale, la population urbaine continuera de croître en moyenne de 1.4% de 2020 à 2050. En 2020, le pourcentage de la population en milieu d'année résidant dans les zones urbaines est de 56.2% alors qu'il sera de 68.4% en 2050 (UN, 2020). La population augmentant globalement et les richesses et les infrastructures se concentrant dans des zones urbaines restreintes (Huppert and Sparks, 2006 ; Jackson 2006 ; Holzer and Savage, 2013), environ 3 millions de victimes causées par les séismes sont à prévoir dans le monde d'ici 2100 selon Holzer et Savage (2013). En effet, Holzer et Savage (2013) ont mis en évidence la relation entre l'augmentation du nombre de séismes à fort taux de mortalité et la croissance exponentielle de la population urbaine aux 19^{ème} et 20^{ème} siècle (Figure 1.4.) en ne considérant que les plus gros séismes susceptibles de provoquer des désastres. Selon Jackson (2006), les plus grandes catastrophes sismiques sont à venir du fait que peu de territoires urbains aient auparavant subi une catastrophe majeure. 65% des mégapoles pourraient être frappées par un séisme de nos jours (Bilham, 2009). La Figure 1.5. représente l'aléa sismique associé à la concentration de la population dans les mégapoles situées dans une région à risque sismique faible à très élevé. En France, une simulation récente portant sur le séisme de Lambesc (Riedel et al., 2015), confirme cette tendance : si le même séisme se produisait en 2008, les dommages seraient bien plus importants, avec un nombre de victimes et des pertes économiques estimées comparables à ceux du séisme de L'Aquila (2009, $M_w = 6.3$).

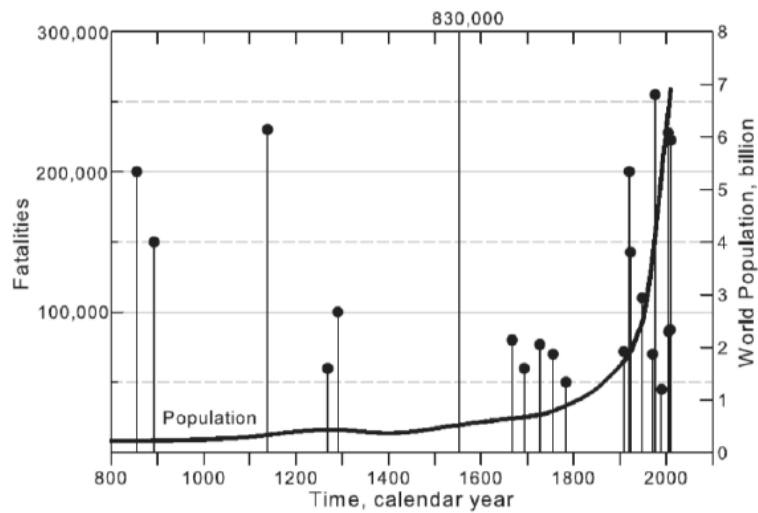


Figure 1.4. Nombre de victimes dues aux séismes les plus importants depuis 800. Trait continu : croissance démographique de la population mondiale. Point noir : séismes majeurs individuels ayant provoqué plus de 50 000 morts (catalogue USGS). D'après Holzer and Savage, 2013.

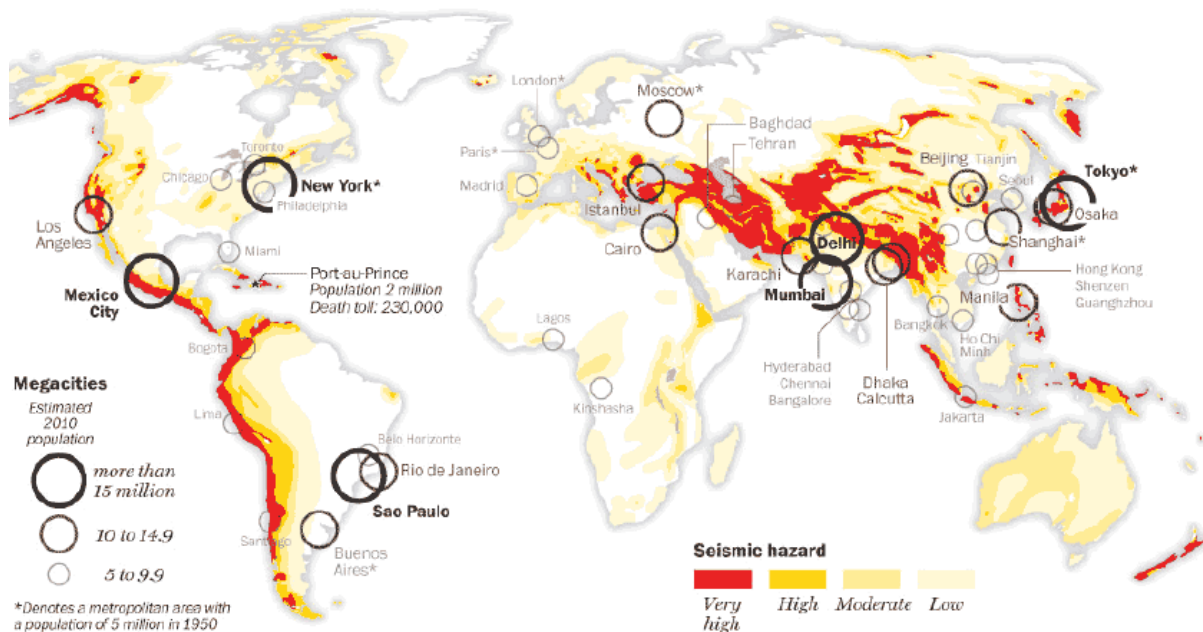


Figure 1.5. Carte mondiale des risques sismiques et concentrations de la population mondiale (GSHAP, 2011).

En France, l'aléa sismique est considéré comme faible à modéré. Les populations se concentrent de plus en plus dans des zones urbaines exposées à un aléa sismique élevé. En effet, la population située en zone sismique élevée par rapport à la population totale française évolue de 4.88% en 1967 à 9.29% en 2017 (INSEE, 2020). Entre 2010 et 2011,

la population française vivant en zone de sismicité élevée augmente de 5.13% à 9.24%. Ce saut s'explique par la mise en place de la nouvelle réglementation parasismique (décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 délimitant le nouveau zonage de sismicité du territoire français), qui voit cinq nouveaux départements classés en zone de sismicité élevée en plus des six initiaux. La Figure 1.6. représente le zonage sismique de la France en vigueur depuis le 1^{er} mai 2011 avec les concentrations de population les plus importantes (Riedel, 2016).

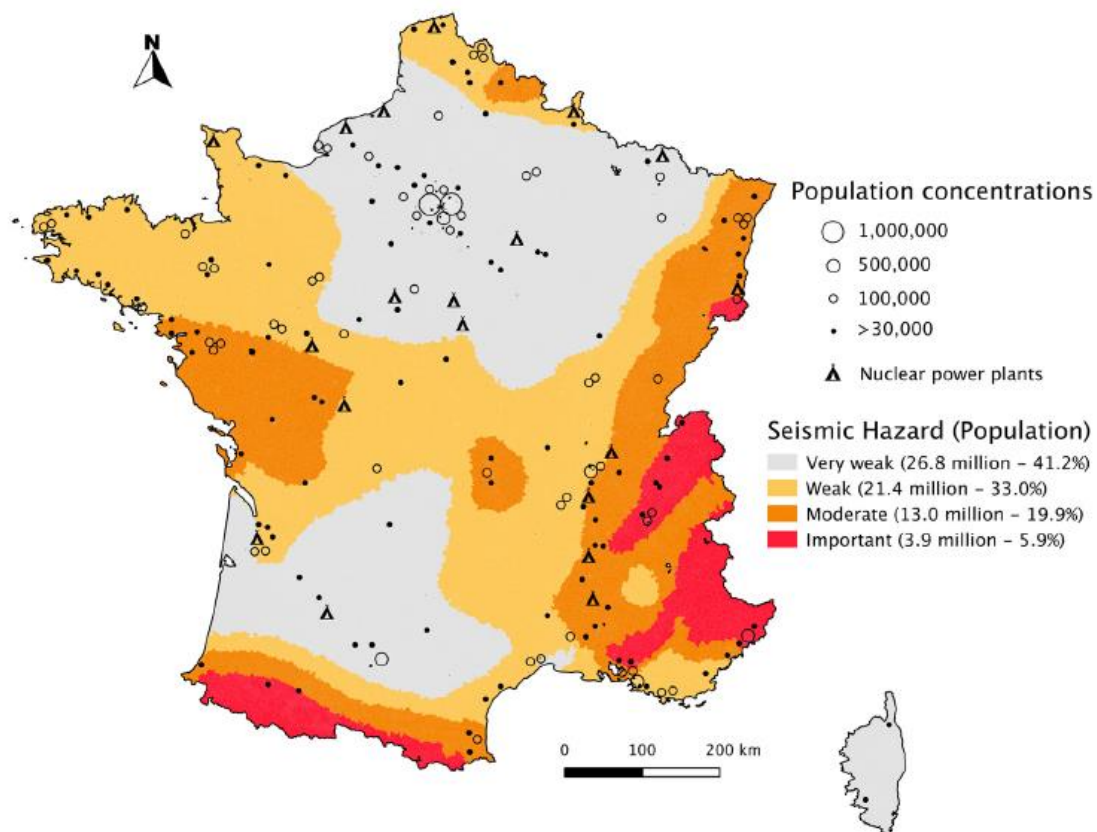


Figure 1.6. Zonage sismique de la France (C.E., art. D. 563-8-1, 2011), concentrations de la population et population totale par zone d'aléa (d'après Riedel (2016)).

Dans les régions à sismicité faible à modérée, le risque sismique existe, surtout si la vulnérabilité et l'exposition des villes y sont élevées.

Quelques séismes significatifs se sont produits en France, Belgique ou Espagne, dans des pays dits à sismicité modérée avec des conséquences non négligeables. Par exemple, certainement le tremblement de terre historique majeur le plus connu de France s'est produit au 20^{ème} siècle (Lambesc, 1909) avec une magnitude estimée à plus de 6 et des conséquences importantes dans la région (à l'époque, une région rurale) d'Aix-en-

Provence, provoquant 42 décès et des pertes économiques de l'ordre de 1500 à 2250 millions de francs (valeur de 1982), ce qui représente 600% du budget de la région PACA concernée (Ministère de l'Environnement, 1982). D'autres événements importants façonnent l'histoire sismique de la France métropolitaine. Les plus récents, comme le séisme de magnitude 5.1 Ossau-Arudy en 1980 (pertes de 4 millions d'euros (MEDD, 1982)), celui de magnitude 4.8 d'Annecy en 1996 (pertes de 50 millions d'euros (AFPS, 1996)) et celui de magnitude 5.2 de Barcelonnette en 2014, ont causé des dégâts importants et des pertes économiques non négligeables. Plus récemment, les pertes économiques du séisme du Teil de 2019 sont estimées à 50 millions d'euros. Il est important de noter que le séisme de Lambesc est comparable en magnitude à celui de L'Aquila (2009) en Italie, ayant provoqué plus de 300 victimes et des pertes économiques considérables, ce qui nous confirme (si besoin était) que le risque sismique en France doit être pris en compte. La Belgique, pays dit à sismicité modérée, a aussi été frappée par des séismes de magnitude modérée provoquant de grosses conséquences. Le séisme le plus récent de Belgique ayant provoqué des pertes s'est produit au 20^{ème} siècle (Liège, 1983) avec une magnitude estimée autour de 4.9 provoquant 2 victimes, 30 blessés et des pertes économiques de l'ordre de 50 millions US\$ (EM-DAT, 2020). Quelques séismes importants se sont produits en Espagne. Le séisme de Grenade (Andalousie) en 1956 avec une magnitude de 5.0 a provoqué 11 victimes et 250 blessés (EM-DAT, 2020). Le séisme de Lorca (2011) est l'évènement sismique le plus important faisant partie de l'histoire sismique récente de l'Espagne. Ce séisme de magnitude 5.1 a provoqué 10 décès, plus de 200 blessés et une perte économique enregistrée de l'ordre de 200 millions US\$ (AFPS, 2011 ; EM-DAT, 2020). Ainsi, même des événements modérés ($M_w < 6.5$) peuvent contribuer de façon significative à l'accroissement des pertes économiques globales, et provoquer un nombre certes plus faible mais néanmoins inacceptable de victimes (Guettiche et al., 2017).

De plus, il ne manque pas d'exemples de séismes catastrophiques lors de ces dernières années pour mettre en évidence à quel point les dommages relèvent fortement de l'environnement urbain. Le tremblement de terre du Frioul (Italie, $M_w=6.5$, 1976, 955 victimes, 15 milliards US\$), celui de Nouvelle-Zélande ($M_w=6.5$, 1987, aucune victime, 409 millions US\$), celui d'Iran ($M_w=6.5$, 1997, 96 victimes, 60 millions US\$), celui d'Eureka (USA, $M_w=6.5$, 2010, aucune victime, 12 millions US\$), celui de Grèce ($M_w=6.5$, 2015, 2 victimes, 20 millions US\$), celui de Chine ($M_w=6.5$, 2017, 27 victimes, 492 millions US\$), celui d'Iran ($M_w=7.3$, 1978, 22500 victimes, 228 millions US\$), celui de Landers (USA, $M_w=7.3$, 1992, 2 victimes, 169 millions US\$), celui d'Iraq ($M_w=7.3$, 2017, 537 victimes, 732 millions US\$), celui du Chili ($M_w=7.8$, 2005, 9 victimes, 26 millions US\$), celui d'Indonésie ($M_w=7.8$, 2010, 461 victimes, 42 millions US\$), celui du Népal ($M_w=7.8$, 2015, 4102 victimes, 6 milliards US\$) et celui de Pedernales (Equateur, $M_w=7.8$, 2016, 669 victimes, 2 milliards US\$) démontrent que la magnitude seule n'est pas représentative des pertes humaines et économiques attendues. Les inégalités sociales et économiques participent à la différence des conséquences pour un séisme de même

magnitude. La Figure 1.7. représente les pertes humaines et les pertes économiques en fonction du PIB par capita pour l'ensemble des 445 séismes mondiaux enregistrés dans les bases de conséquences sismiques entre 1967 et 2018 (EMDAT, 2018 ; NOAA, 2018 ; CAT-DAT, 2018). Ainsi force est de constater que les pertes économiques les plus importantes concernent des séismes impactant des pays riches (par exemple, USA, Nouvelle-Zélande, Japon...) alors que les pertes humaines sont majoritairement provoquées par des séismes impactant des pays émergents (Iran, Indonésie, Népal, Haïti...). Par conséquent, la région impactée, c'est-à-dire sa richesse et sa population exposées est aussi déterminante (Jackson, 2006 ; Bilham, 2009 ; The Lancet, 2011 ; Taylor, 2013 ; Goda et al., 2015 ; McCaughey et al., 2018).

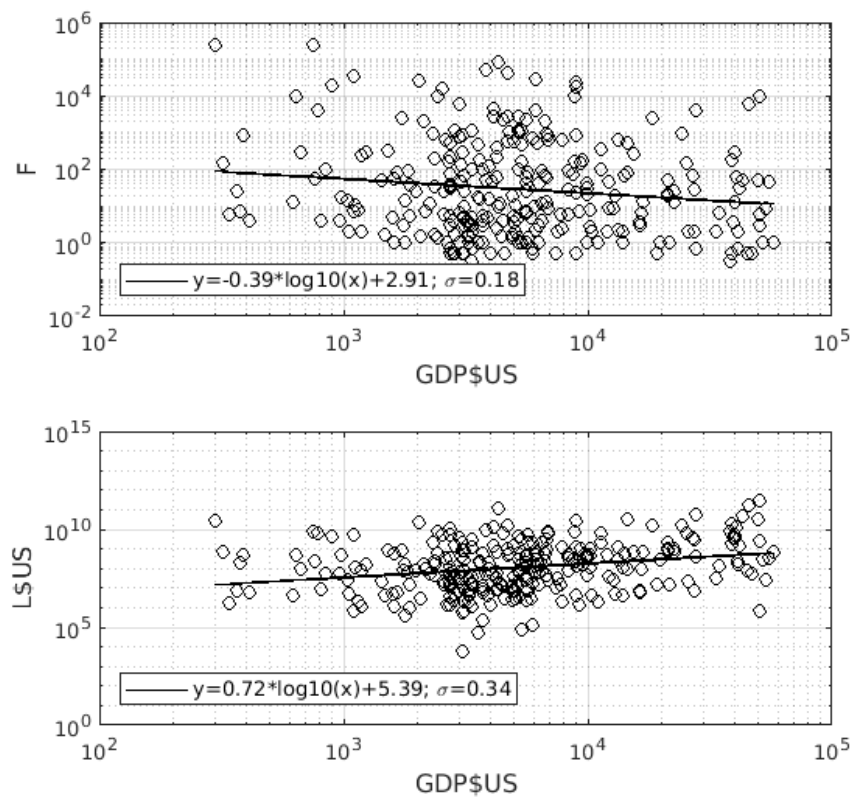


Figure 1.7. Conséquences sismiques en fonction du GDP par capita (GDP\$US) exprimé en \$US pour 445 séismes mondiaux analysés dans ce travail, c'est-à-dire pour lesquels le GDP actualisé est disponible et ayant des Shake-map (voir chap. 3). entre 1967 et 2018 (EMDAT, 2018 ; NOAA, 2018 ; CAT-DAT, 2018). a) Pertes humaines (F) ; b) pertes économiques (L\$US). Avec $y = \log_{10}(y)$.

Confronté aux aléas naturels, « la société tente en amont d'en prévenir la réalisation ou, en parallèle, d'en limiter les effets ou les conséquences par la protection des biens et des personnes » (Joye et al., 2015). Les programmes internationaux de mitigation sur les risques naturels (i.e., stratégie internationale pour la réduction des catastrophes de 1999 (ISDR), le cadre d'action de Hyōgo de 2005 (CAH) et de Sendai de 2015 (UNISDR, 2007

; 2015) contribuent à la réduction des pertes sociales et économiques. Ces stratégies, se focalisant sur la sensibilisation aux catastrophes naturelles, l'évaluation et la réduction des risques naturels, la compréhension des aléas, la gestion et la gouvernance des risques, le renforcement des ouvrages et l'anticipation/préparation, sont bénéfiques globalement. Les bienfaits ont été reconnus depuis leur lancement par les Nations Unis (FEMA, 1996 ; Benson and Twigg, 2004 ; Whitehead and Rose, 2009 ; Shreve and Kelman, 2014). Des analyses du risque sismique sont réclamées par les pouvoirs politiques pour atténuer leurs effets et renforcer leur capacité de réponse. Cela passe par la modélisation des pertes économiques et humaines, informations pertinentes et capitales pour les décideurs (Guéguen et al., 2016) pour orienter leurs actions (Erdik et al., 2011 ; Jaiswal et Wald, 2013) et améliorer la gestion de la catastrophe. Cependant, Brookshire et al., (1997) et Spence et al., (2008) rappellent l'existence d'incertitudes dans l'analyse du risque sismique à prendre en compte pour toute prise de décision.

Avant d'élaborer les modèles de pertes de séismes, les principales questions à se poser, reprenant et complétant celles de Dunand et Guéguen, (2012) et celles de Guettiche et al., (2017), sont :

1. Comment exprimer les pertes liées à la richesse de la région par un indicateur macroéconomique ?
2. Comment représenter les pertes économiques par une valeur monétaire homogène pour permettre la comparaison ?
3. Comment exprimer l'étendue du risque sismique ?
4. Comment estimer les conséquences probables ?
5. Quelles sont les variables d'exposition et comment les exprimer ?
6. Quelle forme fonctionnelle du modèle de perte doit être développée ?
7. Comment déterminer la probabilité annuelle des conséquences socio-économiques à une échelle globale puis locale ?
8. Comment avertir les autorités locales sur le niveau de risque sismique et les conséquences probables associées auxquelles la population est exposée, c'est-à-dire comment diffuser une culture du risque sismique vers les pouvoirs publics ?

L'action préventive est devenue la priorité des politiques. Les modèles empiriques de prédiction des pertes, participant à cette action préventive, sont généralement établis à l'aide des données disponibles pour des régions spécifiques et en effectuant une analyse de régression sur des paramètres uniques ou multiples relatifs à l'aléa, à l'exposition et aux conséquences (Christokov and Samardjieva, 1984 ; Chen and al., 1997a ; Chen and al., 1997b ; Cha, 1998 ; Wen and Kang, 2001 ; Nichols and Beavers, 2003 ; Jaiswal and Wald, 2010 ; Heatwole and Rose, 2013).

Pour autant, peu de mesures incitatives ou oppressives afin de réduire le risque ou anticiper ses effets sont mises en place. Il semblerait alors que cet angle d'approche, seul,

ne suffise pas pour contribuer à la mise en place d'actions. Kerven et Rubise (1991), fondateurs de la Cindynique, l'expliquent. Selon eux, le produit, l'environnement et le comportement sont les trois composantes intervenant dans la définition du risque. Cette définition complète d'une façon plus large celle plus classique qui fait appel à la notion d'aléa, de vulnérabilité et d'exposition. Le produit est défini comme le phénomène physique, c'est-à-dire l'aléa, tandis que l'environnement spécifie la vulnérabilité et l'exposition du lieu. Ces deux éléments sont généralement l'affaire des scientifiques, comme les sismologues et les ingénieurs pour l'exemple du risque sismique. Leur analyse permet la prédiction des conséquences afin d'en faire part aux décideurs locaux, dans le cadre d'une stratégie de réduction. Les décideurs locaux ont la possibilité de réduire ou de limiter les conséquences que peuvent subir de multiples enjeux (sociétaux, économiques) par leur comportement, c'est-à-dire leurs décisions ou leurs actions. Toutefois, remarquons que si l'analyse généralement menée par les scientifiques examine les conséquences produites par l'existence des deux premiers paramètres, la probabilité de survenance d'un aléa naturel et la vulnérabilité modulant la gravité des dommages et des pertes générés, celle-ci ne considère pas les conséquences liées aux comportements des décideurs (par exemple les élus) comme faisant partie de l'analyse du risque.

Un second domaine, le droit, considère les prises de décisions comme éléments à considérer dans les affaires juridiques portant sur le risque. En effet, le droit peut sanctionner sur la base de décisions, ou l'absence de décisions, ayant conditionné les dommages préjudiciables ou du moins leur intensification. Cette réflexion montre la complémentarité de ces deux disciplines, sciences physiques et droit, et leur nécessité à coexister. Cette démarche interdisciplinaire doit apporter une représentation globale du risque naturel en intégrant autant la problématique physique (caractérisation de l'aléa, de la vulnérabilité et du territoire) que celle du droit (caractérisation de la décision au travers de la responsabilité). Les élus sont d'autant plus acteurs si les conséquences personnelles sont connues. C'est pourquoi l'angle d'approche de la responsabilité à travers le droit semble être, bien qu'innovant, intéressant pour favoriser la réduction du risque. Responsabilité est issu du verbe latin *respondere* qui signifie « répondre de », ce qui nous amène à « justifier ce que nous avons fait ou dit ». De nos jours, c'est l'idée qui implique « la mise en place de mécanismes permettant de mettre en cause une personne en raison de la non-réalisation d'un engagement qu'elle a pris, ou d'un dommage qu'elle a causé » (Cans et al., 2014).

Pour la prévention et la protection, un cadre administratif existe. Au travers de la loi de 2004 sur la modernisation de la sécurité civile, le législateur actualise la définition de 1987 portant sur la sécurité civile en y intégrant toutes les modalités de la gestion des risques (art. 1 Loi n°87-565 du 22 juillet 1987). La sécurité civile a à sa charge la prévention des risques dont les risques naturels et la protection des personnes, des biens et de l'environnement (art. 1 Loi n°2004-811 du 13 août 2004). Les moyens et les mesures à mettre en œuvre relèvent à présent de la puissance publique, ce qui va désormais

soulever la question de sa responsabilité (Cans et al., 2014). Avec ce contexte administratif, un cadre juridique s'est développé. En matière de risques naturels, le contexte juridico-social dans lequel le régime de responsabilité est mis en œuvre a fortement évolué. Eu égard à la survenance nombreuse de catastrophes ces dernières décennies (ce phénomène étant appelé à se développer sous les effets conjugués de l'étalement urbain, de l'artificialisation des terres et du réchauffement climatique (Joye et al., 2015)), une forte pression est désormais mise sur l'administration par le droit international comme par le droit constitutionnel français afin que l'administration agisse davantage soit en adoptant des mesures destinées à assurer la prévention des risques naturels, soit en adoptant des mesures de protection quand on ne peut éloigner les populations des dangers, sans quoi la responsabilité de l'administration sera engagée.

Par exemple, bien que la responsabilité pénale en matière de risques naturels soit assez limitée, le procès en 2014 du maire de La Faute-sur-Mer concernant la tempête Xynthia (2010) est un cas récent pour lequel le juge pénal en première instance a retenu une peine d'une sévérité assez exceptionnelle envers les élus concernant une catastrophe naturelle (T. corr. Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014). En Europe, le cas du séisme de L'Aquila (Italie, 2009) est un autre cas d'affaire ayant engagé la responsabilité d'acteurs sur le cas particulier du tremblement de terre (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge) (Alexander, 2010 ; 2014).

En France, les élus sont soumis à deux niveaux de responsabilité, à savoir le fait d'être considérés directement comme à l'origine du sinistre (e.g., autorisation de construire via les PLU, mesures d'urbanisme), et le fait d'être la personne n'ayant pas mis en place une politique de prévention préconisant des solutions de protection adéquates, en connaissance du niveau de risque. C'est dans ce deuxième niveau de responsabilité que les élus et les acteurs publics ont besoin d'évaluation des conséquences probables d'un séisme et de leur décision pour y faire face.

Ainsi l'analyse du risque naturel est pluridisciplinaire à la jonction des disciplines scientifique et juridique. Ce travail de thèse porte sur l'évaluation et la représentation des conséquences des séismes en termes de variables décisionnelles et de la responsabilité des personnes publiques vis-à-vis de ce risque. C'est pourquoi les deux approches seront abordées simultanément et imbriquées afin de répondre à toutes les questions soulevées et à la problématique générale :

Quelles sont les conséquences sociales, économiques et juridiques d'un séisme à l'échelle urbaine ? Lors de préjudices liés aux risques sismiques, ou liés aux risques naturels en général, en quoi la responsabilité administrative des personnes publiques peut-elle être engagée en France ?

1.2 Structure et Contenu

Cette thèse se divise en 9 chapitres, détaillant les informations essentielles à la compréhension de la problématique et des résultats et couvrant les différentes orientations de recherche présentées précédemment.

Chapitre 2 – Le chapitre 2 analyse le socle de connaissances des différents acteurs du risque, les retours d'expériences obtenus sur la gestion politique, opérationnelle et juridique des risques naturels, avec une attention particulière portée au risque sismique. L'approche suivie consistait dans un premier temps à interroger les principaux acteurs (juristes, élus, assureurs, techniciens et membres de la sécurité civile) sur leur connaissance du sujet, leur expérience et leur ressenti concernant la réglementation parasismique et la responsabilité associée. L'analyse de l'enquête menée de 2017 à 2018, mise en perspective vis-à-vis de la littérature scientifique et institutionnelle, a permis de comprendre à quelles conditions les acteurs du risque sismique se mobilisent pour le déploiement d'une démarche de prévention. Finalement, plusieurs déterminants ont été révélés grâce à l'analyse qualitative des entretiens tels que le comportement des élus, la vision politique et la compréhension de la responsabilité. Ce chapitre définit aussi les variables décisionnelles sur lesquelles s'appuieront les modèles de pertes développés dans la suite de la thèse.

Chapitre 3 – La représentation des conséquences d'un séisme pour l'optimisation de l'anticipation et de la prévention apparaît indispensable avant toute prise de décision. Dans les régions à risque sismique modéré à faible, l'estimation des conséquences socio-économiques d'un tremblement de terre à l'échelle régionale est une tâche coûteuse et difficile. Dans ce chapitre, nous analysons les bases de données existantes sur les tremblements de terre mondiaux pour construire un fichier des pertes de 445 tremblements de terre depuis 1967 avec une magnitude supérieure à 4,5. Le fichier comprend des informations sur les conséquences sociales (décès, blessés, etc.) et les pertes économiques (coûts directs et indirects, nombre de bâtiments détruits ou endommagés, etc.). Dans cette étude, la population exposée et le PIB à la date du séisme complètent les informations, estimées avec l'empreinte du mouvement du sol fournie par l'outil ShakeMap de l'USGS. Pour cela, des procédures d'ajustement des variables liées à l'exposition (population et économie) ont été testées afin de construire une base homogène à la référence de l'année 2016, et de réaliser à l'échelle globale les projections des conséquences sismiques pour les années à venir, selon une approche probabiliste. Des modèles d'occurrence des pertes humaines et économiques directes par rapport à la population exposée et au PIB par habitant à l'échelle globale sont dérivés, montrant que,

bien que le nombre de victimes et l'ampleur absolue des pertes augmentent en raison de la concentration urbaine, les pertes globales par rapport à l'exposition diminuent.

Chapitre 4 – Le chapitre 4 développe une base de données synthétiques des pertes sismiques avec l'idée de construire un modèle d'occurrence global. Dans la continuité des variables décisionnelles spécifiées dans les chapitres précédents, la modélisation définie permet pour un séisme de magnitude donnée et en un lieu donné de prédire les pertes économiques et humaines. L'originalité de notre approche est de pouvoir améliorer ces prédictions en évaluant au mieux la population et le PIB exposés aux intensités les plus fortes générées par un séisme. La pertinence de chaque modèle défini à chaque étape de notre processus (la conversion de la magnitude à l'intensité, de l'intensité à l'aire exposée, de l'aire exposée à la population et au PIB exposés, et de la population et du PIB exposés dans chaque intensité aux pertes économiques et humaines) a été testée sur la base de données constituée dans le chapitre 3. Dans un deuxième temps, le processus a été appliqué à la base mondiale ISC-GEM des événements sismiques depuis 1967 afin de constituer une base de données complète et d'évaluer globalement les probabilités annuelles d'occurrence des pertes. Au total, 7 515 événements sismiques ont été collectés pour créer une base de pertes synthétiques associées aux séismes mondiaux de magnitude entre [5.5 ; 8] depuis 1967, impactant une population.

Chapitre 5 – Le chapitre 5 étudie la jurisprudence. Il définit tout d'abord le régime de responsabilité des personnes publiques. La responsabilité administrative représente l'obligation qui appartient à l'administration de réparer les dommages causés par son action ou son inaction. Le renforcement de la responsabilité administrative est observé sous la pression du droit européen et national en matière de protection vis-à-vis des risques naturels. Ensuite, la logique et l'engagement de la responsabilité administrative seront discutés avant d'apprécier les différentes responsabilités de l'administration vis-à-vis du risque naturel par les juridictions. Finalement, plusieurs conditions doivent être combinées afin d'engager la responsabilité administrative. Ces conditions, communes en droit administratif et en droit privé, structurent le schéma de la responsabilité administrative. L'imputation d'une faute à l'administration est une clause restrictive du processus de responsabilité. A cela, trois conditions s'additionnent : le fait générateur, le dommage et le lien de causalité. Bien qu'en réalité l'engagement de la responsabilité pénale des élus en matière de risques naturels relève davantage d'une peur que d'une pratique, puisque ce risque se concrétise très peu, le champ pénal sera abordé sommairement dans ce chapitre.

Chapitre 6 – Le chapitre 6 est une lecture juridique des conséquences de deux catastrophes naturelles récentes - la première relative au risque sismique (L'Aquila, 2009) et la seconde relative au risque tempête (Xynthia, 2010) -, afin d'analyser les responsabilités engagées. Par l'analyse de ces événements, nous nous interrogeons sur les mécanismes juridiques enclenchés suite à ces événements, analysant les comportements des parties prenantes. Par cette analyse juridique est soulevée la complexité de recherche de responsabilité et de responsabilisation morale et pénale. En croisant ces différentes analyses, cette partie constitue un point d'appui majeur pour définir les fondements de la prise de décision du juge dans le domaine des risques naturels, et notamment du risque sismique. Ces cas de jurisprudence montrent d'une part, l'importance de la place des experts au sein d'une prise de décision et d'autre part, les points de vigilance que les élus doivent privilégier. Des similitudes importantes sont relevées à la fois liées à la communication et l'information qui doivent être justes et proportionnées à la connaissance des phénomènes, à l'identification du risque, c'est-à-dire sa nature, et à l'imprévisibilité de l'aléa. C'est à ce moment-là que les scientifiques peuvent intervenir afin d'aider l'élu à la compréhension du risque et à la mise en place des mesures de sécurité et de protection. Finalement, ces cas de jurisprudence mettent en lumière les éléments d'appréciation du juge sur lesquels il pourrait s'appuyer pour engager une éventuelle responsabilité. La caractérisation de l'événement et du territoire, et la réduction de la vulnérabilité participent à la décision du juge. Ces exemples ont permis de mettre en place les étapes du processus d'engagement de la responsabilité propre à chaque événement naturel.

Chapitre 7 – Une fois l'évènement naturel passé, il est l'heure d'évaluer les dommages subis à travers la question de l'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques. Le chapitre 7 est dédié au développement d'un nouveau modèle d'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques vis-à-vis du risque sismique. L'analyse des jurisprudences, en particulier issues d'autres catastrophes naturelles, a servi de base à cette modélisation. Les catastrophes naturelles récentes (chapitre 6) ont rappelé la nécessité de mettre en place des mesures de prévention, qui doivent être adaptées en fonction du niveau d'aléa, du risque et des ressources disponibles. Dans ce chapitre, l'accent est mis sur le risque d'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques. L'approche méthodologique repose d'une part, sur des concepts et des méthodes empruntés à d'autres disciplines, telles que le champ de l'administration publique, de l'environnement et de la gestion du risque naturel en exploitant la démarche ALARP, les courbes de Farmer et la démarche de qualité continue. Bien qu'existante dans les collectivités et antérieurement en entreprise, cette démarche de qualité peut aussi s'inscrire dans le champ des risques naturels à travers l'évaluation de la mise en place des moyens de prévention. En s'appuyant sur le processus du cycle de la roue de Deming, il sera possible de qualifier et de quantifier

l'impact de la mise en place des moyens de protection et de prévention. De ce fait, le lien de causalité, identifié à travers l'investissement mis en œuvre pour des moyens de prévention et de protection et condition sine qua non à une probable mise en accusation, pourra être défini. Le modèle empirique de prédiction des conséquences juridiques estimera la probabilité d'engagement de la responsabilité en fonction de deux composantes : la quantification des conséquences (définition du préjudice) et la maturité des moyens de prévention mis en place. L'originalité de ce travail est d'articuler le droit et la sismologie pour qualifier et quantifier l'impact de la mise en place des moyens de prévention et de protection.

Chapitre 8 – Le chapitre 8 regroupe des études de cas appliquant les modèles de prédiction des pertes sismiques globales et le modèle de responsabilité engagé sur des milieux urbains dans des régions françaises à sismicité moyenne mais à enjeux importants : les métropoles de Nice et de Grenoble.

Les modèles de prédiction des pertes sont testés selon un scénario déterministe, c'est-à-dire en considérant un évènement sismique défini selon une magnitude et une localisation. Le modèle de prédiction des conséquences juridiques est appliqué en collaboration avec les collectivités et les métropoles et en tenant compte de différents scénarios établis en fonction des politiques en place dans ces villes.

Chapitre 9 – Le chapitre 9 résume les principaux résultats obtenus. Les limites identifiées dans ce travail sont aussi synthétisées. Certaines perspectives, tant sur le plan juridique que scientifique, sont également évoquées.

2 Le risque sismique en France : point de vue des acteurs et gestionnaires.

Dans les régions à aléa sismique modéré à faible, l'estimation des conséquences socio-économiques d'un séisme à l'échelle urbaine est une tâche coûteuse, difficile mais essentielle. Les pouvoirs publics ont le devoir de prendre en compte ce risque et de l'atténuer en fonction de leurs ressources. Ainsi, le positionnement du niveau de responsabilité acceptable dans la mise en œuvre des moyens de prévention et de protection, la mise en place de la réglementation sismique et le coût économique induit sont un enjeu majeur. La responsabilité des personnes publiques mais aussi celle des assureurs dans leur démarche de prévention est au premier plan en cas de catastrophe naturelle. La modification de la régulation sismique et la maturité des moyens de prévention et de protection ont un impact direct sur le niveau de responsabilité. Dans cette étude, l'impact des politiques de prévention mises en œuvre se traduit en termes de variables de décision grâce à l'analyse qualitative des 65 entretiens menés entre 2017-2018 en France avec des élus, des assureurs, des techniciens, des avocats et des secouristes. En conclusion, les variables de décision retenues sont la variable économique (pertes directes), la variable sociale (nombre de décès et de blessés) et la variable juridique (quantification de l'engagement de la responsabilité).

2.1 Introduction

La population mondiale est de plus en plus exposée aux aléas naturels, essentiellement à cause de l'augmentation de la population, de plus en plus concentrée dans des zones urbaines (Huppert et Sparks, 2006 ; Holzer et Savage, 2013). Les impacts économiques, sociétaux et sanitaires peuvent être considérables en fonction de la région impactée et de sa population (Jackson, 2006 ; Bilham, 2009 ; The Lancet, 2011 ; Taylor, 2013 ; McCaughey et al., 2018). Face à une population vulnérable et un environnement urbain en évolution (Huppert et Sparks, 2006 ; Bilham, 2010 ; Brinkhoff, 2010 ; Taylor, 2013), il est important de trouver de nouvelles solutions de prévention contre les séismes (Holzer

et Savage, 2013 ; Conférence Habitat III, 2016). Ainsi, en 2004, le concept de résilience prend racine dans le discours de Salvano Briceno, directeur de la Stratégie internationale des Nations unies pour la réduction des catastrophes qui rappelle que « un des enseignements de la Décennie internationale pour la prévention des catastrophes qui s'est achevée en 2000, est qu'il faut abandonner le terme de « naturel ». En effet les catastrophes ne sont pas naturelles : il y a une cause naturelle qu'on ne peut empêcher, mais c'est la vulnérabilité sociale et humaine qui transforme un phénomène naturel en catastrophe » (PNUD, 2004). Les Nations Unies insistent sur l'importance de réduire la vulnérabilité et l'exposition. C'est ainsi qu'en 2005 est adopté le Cadre d'action de Hyōgo sur une période de 2005-2015 pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes. Le concept de résilience doit permettre un retour à la normale rapide à la suite d'un évènement majeur. Les différentes initiatives internationales depuis le cadre de Hyōgo (e.g., Sendai, 2015) insistent sur des politiques de prévention résilientes d'aménagement du territoire, pour orienter l'analyse du risque vers les conséquences au lieu des processus physiques à l'origine des aléas et des dommages associés. Cette notion de résilience, très libérale dans sa définition (Quenault, 2015), considère finalement que ce qui prime est le retour à une situation normale d'activité au détriment de solutions de protection et d'anticipation des catastrophes.

Pour diminuer les conséquences économiques et humaines, un outil adapté est la mise en place de la réglementation parasismique. C'est avec cet objectif (i.e., la sauvegarde des vies humaines) qu'une nouvelle réglementation a été mise en place en France, qui définit, sur la base de l'ensemble des connaissances sismologiques, tectoniques et géologiques, un mouvement du sol fixé en fonction de la zone de sismicité. Elle s'applique au bâti courant et impose des dispositifs permettant de limiter la destruction des bâtiments et ainsi de diminuer les pertes économiques et sociales. En France, les décrets du 22 octobre 2010 redéfinissent la prévention du risque sismique (Décret n°2010-1254) et la délimitation des zones de sismicité du territoire (Décret n°2010-1255). Un changement réglementaire peut avoir des conséquences majeures, tant au niveau de la politique de prévention des risques que de l'économie générale des projets. Cependant, il apporte une sécurité et une qualité de construction meilleure afin de protéger la population.

D'après l'étude du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment en 2015 sur l'impact économique du changement de zonage et du passage des normes PS92 aux normes EC8 pour l'habitat collectif neuf (CSTB, 2015), le niveau d'exigence réglementaire est un des facteurs qui module le coût de la construction. Une étude récente pilotée par le ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) indique cependant que le surcoût moyen en zones II et III n'est que de l'ordre de 1 à 2% pour des bâtiments de classe II à IV (MTES, 2017a). Dans le nouveau zonage sismique de la France de 2010, de nouvelles régions ont été intégrées à des zones dans lesquelles certaines exigences parasismiques sont devenues obligatoires, pour les constructions neuves et pour certaines

transformations/rénovations du bâti existant. Cette nouvelle réglementation pose des questions sur sa mise en œuvre pratique et confronte les élus à des décisions à prendre, sans qu'ils aient les connaissances suffisantes pour appréhender les conséquences de leur décision, ni les moyens nécessaires à leur réalisation. Or, leurs décisions engagent leur responsabilité ou celle de leur collectivité.

En 1987, une première loi définit la sécurité civile comme ayant pour objet « la prévention des risques de toute nature ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes » (art. 1 Loi n°87-565 du 22 juillet 1987). Au travers de la loi de 2004 sur la modernisation de la sécurité civile, le législateur a souhaité actualiser cette définition afin d'y inclure l'ensemble des modalités de la gestion des risques. La sécurité civile a « pour objet la prévention des risques de toute nature, l'information et l'alerte des populations ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes par la préparation et la mise en œuvre de mesures et de moyens appropriés relevant de l'Etat, des collectivités territoriales et des autres personnes publiques ou privées » (art. 1 Loi n°2004-811 du 13 août 2004). A partir de 2004, la présence de la puissance publique dans la prévention des risques va questionner sur sa responsabilité (Cans et al., 2014). La modification de la réglementation parasismique a donc des répercussions directes sur la relation entre la responsabilité et la décision des élus dès que se pose la question de la gestion du patrimoine bâti. Elle peut rapidement être engagée en cas de catastrophe naturelle, si les obligations réglementaires imposées n'ont pas été respectées par méconnaissance ou manque de moyens. Le procès en 2014 du maire de La Faute-sur-Mer concernant l'affaire portant sur la tempête Xynthia (2010) est un cas récent retenant en première instance une peine pénale d'une sévérité remarquable envers les élus vis-à-vis d'une catastrophe naturelle. En Europe, le cas du séisme de L'Aquila (Italie, 2009) est un autre cas d'affaire ayant engagé la responsabilité d'acteurs sur le cas particulier du tremblement de terre (Alexander, 2010 ; 2014a).

Dans cette étude, nous avons analysé le niveau de connaissance des différents acteurs du risque, et obtenu des retours d'expériences sur la gestion politique, opérationnelle et juridique des risques naturels, avec une attention particulière portée au risque sismique. L'approche suivie consistait à interroger les principaux acteurs français (juristes, élus, assureurs, techniciens et secouristes) sur leur connaissance du sujet, leur expérience et leur impression concernant la réglementation parasismique et la responsabilité associée. Dans une première section, la méthode utilisée et les données sont présentées. Puis les résultats de l'enquête sont donnés dans une deuxième partie, analysés et interprétés dans une troisième partie. Les conclusions présentées à la fin de ce chapitre reprennent les informations essentielles et proposent la définition de variables permettant d'améliorer la prise en compte du risque par ces différents acteurs.

2.2 Méthode et données

Un questionnaire a été construit pour chaque profil de personnes interrogées (Annexe 1). L'élaboration de ce questionnaire constitue un élément majeur de l'enquête puisqu'il oriente la forme des réponses et leur utilisation ultérieure. Au total, sur 740 personnes sollicitées par email, 65 enquêtes exploitables (9%) ont été menées correspondant à plus de 50 heures d'entretien.

Les personnes interviewées représentent 28 élus, 16 avocats, 3 assureurs, 3 secouristes et 15 techniciens instruisant des dossiers techniques ou administratifs incluant le risque sismique (contrôleurs techniques, agents territoriaux et nationaux). Toutes les zones du zonage sismique réglementaire ont été échantillonnées, avec respectivement 8, 12, 7 et 1 élus se situant en zone moyenne, modérée, faible et très faible, et 8, 5, 2, 0 pour les techniciens, couvrant au total 34 communes. Celles-ci sont pour 9% d'entre elles inférieures à 2000 habitants, 41% de 2001 à 20 000 habitants, 23% de 20 001 à 50 000 habitants, 18% de 50 001 à 100 000 habitants et 9% de plus de 100 001 habitants. Les juristes exercent dans des régions sismiques diverses et les SDIS opèrent dans des zones sismiques de niveau moyen et modéré (départements 06, 73, 74).

Les questionnaires ont été structurés autour de trois thèmes principaux portant sur :

1. La connaissance du risque sismique et de la réglementation parasismique par les différents publics interrogés ;
2. Les facteurs décisionnels nécessaires pour prendre des décisions intégrant le risque sismique ;
3. La connaissance de leur responsabilité vis-à-vis du risque sismique.

Selon le profil des acteurs interrogés, ces trois thèmes étaient plus ou moins approfondis. Le questionnaire se présentait sous forme de questions ouvertes, permettant de collecter leur expérience opérationnelle en termes d'intégration du risque dans leurs actions et décisions.

La structure et le contenu de l'enquête ont été décidés en s'appuyant sur plusieurs références telles que :

- La base de la littérature nationale et internationale en matière de risque sismique et de réglementation (Anziani, 2010a ; 2010b ; 2010c ; Alexander, 2010 ; Przulski et Hallegatte, 2012 ; COMETS, 2013 ; Alexander, 2014b ; Chadenas et al., 2014 ; FENVAC, 2014 ; Arcuri et Simonccini, 2015 ; Scotti, 2014 ; Mannella et al., 2017) ;

- L'expertise des auteurs dans leur relation avec les élus et les collectivités ;
- Les jurisprudences des risques naturels (L'Aquila et Xynthia) pour en particulier traiter du volet responsabilité ;
- Les cadres d'action du PNUD (Hyōgo, 2005 et Sendai, 2015) ;
- La connaissance du cadre réglementaire parasismique français via les décrets n°2010-1225 et n°2010-1224.

On retrouve également certains thèmes dans l'étude lancée par le ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie et par le ministère du logement, de l'égalité des territoires et de la ruralité portant sur la réglementation parasismique (MTES, 2017a).

Les entretiens étaient semi-directifs, c'est-à-dire que le niveau de détail des réponses était laissé à l'appréciation de l'interviewé. Elles étaient structurées de façon à les inviter à formuler une réponse la plus élaborée possible, nécessitant une réflexion plus grande selon Fenneteau (2015).

Les données ont été analysées par une méthode de type analyse descriptive sur données qualitatives (Bardin, 1977 ; Blais et Martineau, 2006 ; Mukamurera et al., 2006).

2.3 Résultats

Les résultats de l'enquête mettent en lumière des déterminants permettant de comprendre à quelles conditions les acteurs se mobilisent pour déployer une démarche de prévention. Les déterminants sont présentés dans cette section.

2.3.1 Vis-à-vis de la prévention

Koffie Anam (Report of the Secretary-General on the work of the Organization, Nations Unies, 1999a), secrétaire général des Nations Unies constatait en 1999 que « construire une culture de prévention n'est pas facile. Alors que les coûts de la prévention doivent être payés dans le présent, ses avantages se situent dans un avenir lointain. De plus, les avantages ne sont pas tangibles ; il y a des catastrophes qui ne se produisent pas ». Ce constat est également repris par Huppert et Sparks (2006) pour les pays émergents qui indiquent que l'efficacité de la prévention ne sera visible que dans le futur. Le temps séparant deux événements et le retour d'expérience sont donc deux éléments facilitant la mise en œuvre de la prévention.

Tous les élus interrogés savent que leur commune est exposée à un aléa naturel et toutes les catégories de personnes interviewées savent que la France est exposée aux aléas naturels. Les techniciens et les élus ont indiqué à 14% les tempêtes et à 55% les inondations. La tempête Xynthia de 2010 et les inondations du Sud de 2002 et 2003 sont les événements les plus mentionnés (51% chez les techniciens, 44% chez les élus). Quant aux juristes, ils ont tous eu au moins une fois un cas d'affaire portant sur ces deux aléas naturels. D'ailleurs, 61% des interviewés indiquent que ces événements ont déclenché la mise en place de nouveaux outils de prévention réglementaire, via les programmes d'actions et de prévention des inondations (PAPI) ou la directive inondation (Directive n° 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation). Ces programmes ont en effet conduit en 2017 à l'approbation de 9 885 plans de prévention des risques inondations, contre 2 062 pour les mouvements de terrain (Gaspar, 2017).

A l'opposé de nos attentes, qui pouvaient nous laisser imaginer une participation plus grande des acteurs a priori les plus concernés (i.e., vivant ou ayant leur activité dans les zones les plus sismiques), on constate que l'intérêt des publics sollicités n'est pas dépendant du niveau sismique : 53% des réponses viennent des zones à sismicité moyenne et modérée, et 47% des zones à sismicité faible à très faible. Cela traduit certainement un faible intérêt pour cet aléa dans leurs actions et décisions. D'ailleurs, 62% des élus interrogés affirment que le risque sismique n'est pas une priorité comparée aux autres risques. Ils caractérisent d'ailleurs la réglementation associée comme récente (15%), n'ayant a priori pas connaissance de la réglementation avant 2010. Sur toutes les personnes interrogées, 6% ont pu citer l'existence d'un PPR séisme (PPRS), un nombre faible mais qui traduit une réalité. En effet, selon la base de données Gaspar (2017), 208 plans de prévention des risques sismiques ont été approuvés en France, et seulement 125 en Métropole sur 21 366 communes concernées par l'aléa sismique (soit 0,6% des communes) (MEDDE, 2011). La métropole Nice Côte d'Azur est la seule métropole exposant plus d'un million de personnes adoptant un PPR séisme en 2019. Ces chiffres confortent finalement les élus et les techniciens dans le fait que cet aléa n'est pas essentiel pour leurs décisions. Selon les élus et les techniciens (64%), l'Etat n'est pas proactif dans la mise en place d'actions de prévention sur le risque sismique, impression reprise également par les juristes (47%).

Comparons d'ailleurs l'action étatique sur le risque sismique à celle portant sur des risques pour lesquels l'état s'engage par une politique de prévention plus intrusive, engagement qui contribue à la représentation de l'importance et de la priorité nationale : les risques liés aux accidents de la route et à la consommation du tabac.

Par exemple, depuis 1970, la politique de prévention de la sécurité routière n'a cessé de s'améliorer et d'évoluer, ce qui a permis de passer d'un nombre de décès de 18 000 en 1970 à 3 400 en 2014 (rapport Evaluation de la politique de sécurité routière de Bondaz, 2014). Pour atteindre un tel objectif, l'Etat a mis en place une politique de prévention

estimée à environ 8 milliards d'euros en 2014 (Bondaz, 2014). Concernant la prévention antitabac, le nombre de décès était de 66 000 en 1980 et en 2014, et 78 000 en 2015 (OFDT, 2019). A titre d'exemple, pour l'année 2010, 1,5 milliards d'euros ont été investis en prévention (OFDT, 2013). Ces deux exemples contradictoires indiquent que la prévention n'atteint pas toujours ses objectifs mais que la volonté de réduire un risque passe par une volonté politique qui s'appuie sur des objectifs économiques ou sociaux à atteindre. Dans le cas de la sécurité routière, l'action décidée a permis de réduire les pertes humaines, mais simultanément les pertes économiques associées ont augmenté : atteignant 1% du PIB en 2012, puis 1,5% en 2015 et 2,2% en 2016 (Onisr, 2012, 2015, 2016). Pour la politique antitabac, le coût social du tabac en 2006 représentait 3% du PIB français (Kopp et Fenoglio, 2006), 1,1% en 2010 (Kopp, 2015) et il dépasse à nouveau 3% en 2015 (Kopp, 2015). Par ces exemples, on constate que la mise en place d'une politique de prévention, bien qu'ayant un coût financier important, a un objectif social, i.e. la santé publique et la réduction des accidents corporels. La prévention du risque sismique a le même objectif puisque la réglementation mise en place a comme objectif la sauvegarde des vies humaines. Cependant, les personnes interrogées (64% des élus et techniciens, 47% des juristes) soulignent que l'exemple n'est pas donné par l'état et on peut se demander à quel prix une telle politique de prévention doit-elle être mise en action. Pour cela, la simulation des conséquences d'un séisme se basant sur des variables décisionnelles doit permettre cette évaluation.

En 1982, par la loi n°82-600, les plans d'exposition aux risques naturels sont institués pour porter à connaissance de la population l'existence d'aléas naturels. Vient ensuite en 1995 une réforme qui remplace les plans d'exposition par les plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN). Ces PPRN imposent des exigences portant sur les constructions et l'occupation des sols, afin de réduire la vulnérabilité des biens et des personnes. Dans le même temps, la loi Barnier de 1995 est instaurée : elle vise à renforcer et à unifier l'action de prévention (loi n°95-101). En particulier le Fonds Barnier est institué pour le financement d'actions de réduction des conséquences des aléas naturels. Or en 2009, la Cour des comptes dans son rapport annuel pointe des procédures budgétaires complexes et confuses (Séguin et Bazy-Malaurie, 2009). 62% des élus et des techniciens interviewés en 2018 constatent toujours la complexité de mise en place des mesures de prévention par l'état. La Cour des comptes a également révélé l'absence d'une estimation complète des conséquences socio-économiques du risque inondation. De 2009 à 2014, le Fonds Barnier est passé de 79 millions d'euros à 217 millions d'euros (179 millions d'euros en 2013), avec comme conséquence la mise en place de nombreux PPRN (MTES, 2014). Ce montant ne représente que 1% du PIB et les assureurs (100%) ainsi que les élus interrogés (65%) constatent toujours sur le terrain des insuffisances dans l'application concrète des politiques de prévention.

A ce jour, peu de moyens du Fonds Barnier sont attribués au risque sismique. Sur les comptes de 2009, cela représente 7% des dépenses, essentiellement aux Antilles avec

la mise en place du Plan Séisme depuis 2007, alors que 58% des dépenses ont été attribuées aux inondations (MTES, 2014 ; 2015 ; 2016). Sur ces 7%, 5% ont été alloués à la rénovation d'infrastructures de secours (par exemple, SDIS06) depuis 2013. 55% des élus et 40% des juristes constatent que la politique de prévention n'est pas appliquée partout de façon uniforme sur le territoire, en particulier au sein d'une même zone. Les techniciens trouvent également à 22% que les PPRN sont obsolètes et n'intègrent pas les dernières avancées scientifiques et techniques vis-à-vis des aléas naturels. Les élus sont du même avis à 35% bien que 16% ne connaissent pas précisément les risques naturels auxquels ils peuvent être confrontés. Un exemple flagrant concerne les élus de l'Ouest mais surtout de l'Est. A la question de savoir dans quelle zone sismique leur commune se situe, 38% des élus interviewés ne définissent pas correctement le niveau. On peut se demander alors si l'information sur la représentation du niveau sismique par zone est assimilée, mais aussi diffusée correctement. Un autre exemple constaté chez les juristes concernées (27%) est l'ignorance du PPRN multirisques (dont sismique) sur Annecy, approuvé pourtant depuis 2009.

Pourtant, les deux principes inscrits dans la politique de prévention du risque en France sont l'information auprès des citoyens et l'intégration de cette composante dans les plans d'urbanisme. Une commune a à sa disposition tout un arsenal de documents et plans, comme les plans communaux de sauvegarde (PCS), les schémas de cohérence territoriale (SCOT), les PPRN ou le dossier d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM). C'est au travers de ces dispositifs que les élus et les techniciens doivent intégrer le risque sismique sur leur territoire. Pour 52% des élus interrogés, le PCS est le dispositif le plus utilisé et le plus connu, ce plan couvrant l'ensemble des exigences requises. Il prévoit des actions sur les éléments exposés, en particulier par l'application des règles, sur l'aménagement du territoire, sur la connaissance du risque et sur la préparation à la gestion de crise. En parallèle, 43% des élus interrogés reconnaissent faire confiance aux acteurs de la construction pour intégrer la réglementation, s'évitant des mesures de contrôle qui ne sont de toute façon pas de leur prérogative. Ils doivent uniquement spécifier aux maîtres d'œuvre qu'ils se trouvent dans une zone sismique et qu'ils doivent se référer à la réglementation associée au moment du dépôt du permis de construire (arrêté du 10 septembre 2007 relatif aux attestations de prise en compte des règles de construction parasismique ; art. L563-1 du code de l'environnement). 59% des élus pensent qu'en aucun cas, leurs choix politiques et les décisions associées peuvent être orientés par le risque sismique, puisqu'ils se contentent de suivre la réglementation. On peut pourtant se demander comment des choix d'aménagement et de transformation du patrimoine bâti peuvent être menés sans qu'une brique de décision portant sur le sismique ne soit intégrée à la chaîne complète de réflexion, la réglementation imposant des contraintes et des coûts supplémentaires dès lors que des transformations particulières sont envisagées.

2.3.2 Vis-à-vis de la réglementation

La réglementation parasismique ne fait pas l'unanimité : 30% des élus, 40% des techniciens et 20% des juristes interrogés restent sceptiques quant au bien-fondé de cette réglementation, et attendent de voir ses effets. On sait pourtant que la mise en place d'une réglementation réduit les dommages et donc les victimes (Wyss et Trendafiloski, 2011), évolution constatée également par Bilham (2004 ; 2009) en analysant la croissance démographique et le nombre de victimes à l'échelle globale. Le passé a montré que suite à des forts séismes (Lisbonne, 1755 ; San Francisco, 1906), l'adoption par la communauté politique, sociale et technique de nouveaux principes de construction est naturelle et systématique, s'appuyant sur le constat de la défaillance de certains éléments ou techniques de construction (Ramos et Lourenço, 2004 ; Corneiro, 2006 ; Pereira, 2009). D'autres séismes plus récents (Mexico 1985 ; Christchurch, 2010) confirment cette observation selon Stevenson et al., (2011), le Ministère néozélandais (2014) et Mancebo (2007).

Cependant, malgré cela, techniciens (47%), juristes (40%) ou assureurs (66%) interrogés constatent un défaut de mise en œuvre en France. L'Etat a mis en place la nouvelle réglementation parasismique en 2010 (décret n°2010-1254 ; décret n°2010-1255) essentiellement pour le bâti neuf. Cette règle n'a pas un impact fondamental pour les villes concernées d'après 51% des interviewés (toute catégorie). D'après Coburn et Spence (2003), le renouvellement total du parc immobilier est estimé à une centaine d'années. Ce sont donc les bâtiments anciens qui sont les plus vulnérables, comme le rappelle Cinotti et al., (2019) dans son rapport relatif à l'aléa sismique à Nice. La majorité des élus interrogés (56%) soulignent ainsi que les éléments concernés par cette réglementation ne sont pas les bons (i.e., bâti neuf essentiellement) si on souhaite réduire le risque sismique. Des dispositifs existent pour les bâtiments existants mais ils sont vus comme extrêmement contraignants et difficiles à appliquer pour la moitié des élus (53%) et des techniciens (49%) interrogés. Le niveau et la perception du risque y sont certainement pour beaucoup. En effet, sans pouvoir généraliser à l'ensemble des constructions, une énorme différence existe entre les Antilles et la Métropole, les bâtiments scolaires n'ayant pas bénéficié de la même volonté politique pour renforcer ou reconstruire selon les règles parasismiques (Rapport du BRGM concernant le pré-diagnostic sur les microzonages sismiques pour des communes d'importance variable de Rey et al., 2009 ; Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer - Plan Séisme Antilles 2007-2013, 2017a, 2017b). Selon les élus (65%) et les techniciens (85%) interrogés, cette réglementation semble pour l'instant n'avoir que peu d'impact, le parc immobilier existant n'étant que très peu concerné. Toujours selon les élus, 38% indiquent que la politique contre les séismes est difficile à porter par le législateur français. Son objectif est de rendre le bâti conforme vis-à-vis des séismes, mais avec finalement peu de contraintes pour le bâti existant, élément le plus vulnérable, ce qui leur fait dire que le législateur ne va pas au bout de ses choix politiques. Alors que de nombreuses affaires concernant le risque

inondation sont traitées chaque année, portant sur une faute dans la délivrance des permis de construire, les juristes s'étonnent qu'ils n'aient eu à traiter aucune affaire de ce genre vis-à-vis du séisme, ce qui leur fait dire (à 50%) que ce risque n'existe pas.

Les juristes considèrent la réglementation complexe (90% des juristes interrogés), parce qu'elle comptabilise beaucoup de normes à respecter comme tous les corpus de règles de la protection (code de la construction et de l'habitat ; code de l'urbanisme), et qu'elle est difficile à mettre en œuvre (COPRNM, 2013). Cette complexité ne facilite pas les bonnes pratiques constructives, encouragée aussi par un niveau de connaissance limité du bien fondé et de la logique de cette réglementation. En effet, selon les techniciens (35%), elle est souvent méconnue ou incomprise auprès des acteurs de la construction, et difficile à mettre en œuvre et à contrôler (51% selon les techniciens, 66% selon les assureurs et 7% selon les élus), ce que confirme un rapport du BRGM (Auclair et al., 2007) effectué sur la réglementation précédente dites PS92. Pour 19% des juristes interrogés, ce constat est confirmé du fait de l'absence de l'Etat pour inciter à la mise en conformité des bâtiments, même si la réglementation parasismique est une obligation. Son objectif (la sauvegarde des vies humaines) n'est pas pragmatique pour respectivement 24%, 30% et 20% des élus, des techniciens et des juristes interrogés qui souhaiteraient limiter les dommages, sans qu'ils aient bien conscience des contraintes supplémentaires qui leur seraient alors imposées. Dans les pays développés où les codes parasismiques existent, il y a peu d'efforts pour les mettre en place et les faire appliquer (Shah, 2006). Une des raisons soulevées par Shah (2006) est que les professionnels et les gouvernements ont rarement leur responsabilité engagée et les chantiers sont peu contrôlés.

La plupart des élus interrogés (45%) soulignent également l'existence du principe de précaution, défini par la loi n°95/101 selon laquelle « l'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques et techniques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économiquement acceptable ». La définition de ce coût acceptable est subtile et des simulations coûts/bénéfices sont nécessaires. Il est aussi mentionné dans la Charte de l'environnement que « lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent, par application du principe de précaution, à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin d'éviter la réalisation du dommage ainsi qu'à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques encourus ». (Sénat, 2002 ; Projet de Loi constitutionnelle de la République française, 2003). En pratique, et toujours selon les juristes (75%), les maires en charge de l'approbation des permis de construire préfèrent refuser un permis sur une zone à risque (en particulier liée à l'aléa inondation) par prudence que de l'autoriser même si le demandeur a pris toutes les précautions pour ne pas l'aggraver. Pour autant, si la réalité du risque n'est pas fondée, le maire ne peut pas s'opposer à un projet de construction

(Tasciyan, 2016a ; 2016b). Dans le cas contraire, dès lors que le projet l'intègre et permet d'assurer la sécurité des occupants et des biens, le maire sera tenu de délivrer l'autorisation requise (CAA Nantes, 12 juin 2015, n°14NT00977). (Tasciyan, 2016a ; 2016b)¹. Les juristes interrogés (47%) préféreraient que les permis ne soient pas rejetés à cause de l'aléa à condition qu'ils prouvent que des dispositifs spéciaux ont été intégrés pour s'en préserver. Selon eux (40%), la réglementation parasismique participe à cette volonté en adaptant le niveau de contrainte (ou d'aléa) à la catégorie du bâtiment et à la zone sismique.

2.3.3 Vis-à-vis de l'information

La difficulté de sensibiliser la population est ressentie chez toutes les catégories interrogées. En réalité, comment instaurer une culture du risque sismique chez les citoyens alors que les élus eux-mêmes n'en ont pas conscience (pour 46% d'entre eux). Certains techniciens interrogés (58%) rappellent, s'il le faut encore, un défaut de mémoire de la population par rapport à la période de retour des séismes majeurs. Pour eux, ce manque d'événements récents participe au fait que la prise de conscience soit difficile. Par exemple, les enquêtes réalisées dans la région d'Annecy, montrent que peu de personnes (20% des personnes interrogées ayant une activité sur la région d'Annecy) se souviennent du séisme d'Epagny-Annecy, pourtant relativement récent (1996). Jackson (2006) a montré qu'avec la connaissance du risque, la façon de vivre ne change pas forcément. En revanche, tous les élus s'accordent à dire que, en s'appuyant sur l'expérience d'autres risques comme les inondations, les populations prennent conscience et modifient leur perception du risque à la suite d'un événement, également constaté par Huppert et Sparks (2006). Puis avec le temps, elles s'en désintéressent (Huppert et Sparks, 2006). Pour autant, Huppert et Sparks (2006) insistent sur l'importance de s'appuyer sur les séismes du passé pour mieux envisager les séismes à venir.

Un constat intéressant en France porte sur les tempêtes. La France qui est très souvent frappée n'a pas pour autant une culture de ce risque très développée (Anziani, 2010b ; 2010c ; Chauveau et al., 2011 ; Calvet et Manable, 2015). Dans le rapport n°647 des audiences concernant Xynthia (Anziani, 2010c), il est noté que « la France ne possède pas une culture du risque assez développée, marquée au contraire par une culture du secret qui pour les citoyens a compté sur la protection de la puissance publique pour se prémunir contre les risques ».

¹ Ce sont des cas que l'on retrouve pour le risque inondation, « il a été jugé qu'un maire avait illégalement refusé de délivrer un permis de construire pour réaliser une maison d'habitation en zone inondable, dans la mesure où le projet était conçu pour éviter tout risque d'inondation. En l'espèce, le demandeur avait prévu d'édifier sur pilotis la maison projetée afin que le premier niveau habitable soit situé à une cote de 1 mètre supérieure à celle de la marée centennale » (CAA Nantes, 12 juin 2015, n°14NT00977).

Les élus (50%) se demandent aussi pourquoi dépenser le denier public dans la mise aux normes des bâtiments publics alors que selon eux, le risque sismique n'existe pas sur le territoire français. Ou du moins, reconnaissent-ils qu'ils n'en ont pas connaissance. Ce constat est étonnant pour des acteurs devant mettre en œuvre les actions de prévention mais il confirme un défaut d'information et de formation quant à la représentation des événements ayant des périodes de retour importantes. Déjà, Shah en 2006 (Shah, 2006) se demandait si les personnes en charge de la décision et de la gestion des risques étaient toujours bien informées du niveau d'exposition et des conséquences probables.

Les enquêtes mettent également en avant le manque de communication entre les scientifiques et les personnes publiques pour 80% des personnes interrogées. Selon eux (52%), les scientifiques ont un rôle d'expert, mais comme le soulignent Campillo et al. (2015), ce rôle est de plus en plus compliqué à exercer à cause de la pression provoquée par les médias. Lamontagne et Flynn (2014) indiquent que les informations fournies par les scientifiques en cas de crise sismique aident les populations et les autorités affectées à prendre les meilleures décisions, en connaissance de cause. Il est alors tout à fait légitime de penser que les scientifiques ont aussi un rôle à jouer pour mieux informer les autorités afin d'anticiper les crises sismiques, grâce à des outils de simulation des conséquences. La nécessité d'informer et d'éduquer les populations prend alors tout son sens (Bilham, 2009), avec un effet sur la réponse active et sur la diminution des pathologies psychologiques des populations affectées afin de mieux se rétablir (Huppert et Sparks, 2006 ; Lamontagne et Flynn, 2014). Par conséquent, il est primordial pour les scientifiques d'adapter leur discours au public afin d'avoir une influence positive sur leur comportement et de participer à la résilience.

Le retour d'expérience du tremblement de terre de L'Aquila en 2009 a montré à quel point une mauvaise compréhension des expertises scientifiques par les pouvoirs publics et la population pouvait avoir de graves répercussions. Ciccozzi (2013), expert auprès des tribunaux, a été chargé d'analyser la communication scientifique des membres de la Commission italienne Grands Risques (CGR) et la façon dont elle a été perçue et traduite en étudiant le comportement de la population. Il conclut que leur communiqué a incité à sous-estimer le risque, ce qui a conduit à « des comportements inadaptés » (Ciccozzi et Clemente, 2013). Les conclusions prises lors du procès en première instance donnent à réfléchir à la valeur et à l'utilisation des mots auprès du public. Le comité éthique du CNRS (COMETS, 2013 ; 2016) rappelle que « l'exploitation des conclusions de l'expertise n'appartient pas à l'expert scientifique, mais au décideur politique. Les scientifiques n'ont pas à être solidaires des décisions prises à partir d'un ensemble d'information dont leur expertise n'est qu'un élément. L'expert doit conserver un pouvoir de contrôle sur le contenu de son expertise, qui ne doit pas être dénaturé dans sa présentation au public ». C'est donc bien aux décideurs politiques de prendre les décisions, en connaissance de cause et en ayant la faculté d'analyser et d'interpréter l'expertise. Le COMETS insiste aussi sur le fait que les experts doivent être attentifs et préventifs lorsqu'ils rendent

publiques leurs conclusions. Shah (2006) mentionne aussi un manque de communication entre les experts et les décideurs concernés par le risque sismique, mais en même temps Huppert et Sparks (2006) et Shah (2006) se demandent à qui revient la responsabilité de transférer les connaissances.

Ainsi, augmenter le niveau de connaissance scientifique des acteurs est essentiel afin de réduire les risques et de renforcer la résilience aux catastrophes (Birkmann et al., 2016 ; Hornyak, 2018). Cette tendance internationale se retrouve aussi dans les demandes des techniciens (95%), élus (92%) et secouristes interrogés (66%) qui souhaitent plus d'information et de connaissances accessibles.

2.3.4 Vis-à-vis de la gestion institutionnelle des risques naturels

Comme le Cadre d'actions de Hyōgo en 2005 le prévoit, l'Etat s'appuie sur les collectivités territoriales pour appliquer sa politique de prévention des risques. Néanmoins, 54% des élus interrogés estiment que l'Etat se décharge sur les collectivités, notamment pour les contrôles techniques qui selon la majorité des personnes interrogées (66%) est le défaut majeur.

Pour 100% des techniciens et des juristes interrogés, les procédures de contrôle et le dispositif mis en place ne sont pas efficaces. Peu de contrôles se font par manque de compétences ou parce que ce rôle n'est pas attribué aux services instructeurs. Or, dans le rapport de 2004 sur l'Evaluation de l'application de la réglementation parasismique (Davidovici et al., 2004), il est bien précisé que les services instructeurs de l'Etat sont compétents pour le contrôle de légalité de l'application des règles parasismiques. Cela contredit les dires des techniciens interrogés (25%). Déjà en 1991 la situation était la même puisque le rapport de Fortin (1991) concernant la mise en œuvre et le contrôle de l'application des textes relatifs à la prévention du risque sismique, insistait sur le fait que le contrôle à posteriori par l'Etat du respect des règles était inexistant : « en effet, les contrôles du respect des règles de construction de toute nature, effectuées à la demande des DDE par les CETE ne représentent que quatre à six opérations par département et par an ». Plus récemment, on constate que l'Etat n'est toujours pas en mesure d'assurer le contrôle des règles de construction. En 2016 et 2017, 40 contrôles (soit un taux de contrôle de 1/10 000) ont été menés sur l'ensemble du territoire français (Outre-Mer compris) (460 000 logements ont été en chantier), 9 contrôles en 2016 et 31 contrôles en 2017. Lors de ces contrôles, il y a eu quasi-systématiquement des « non-conformités » détectées (Cinotti et al., 2019). Il ne faut pas oublier aussi la faiblesse du contrôle de légalité à l'égard des permis de construire qui existe depuis toujours selon les personnes interrogées (45% selon les techniciens et 25% selon les juristes), faiblesse également confirmée par le Conseil d'Etat dans son rapport sur L'urbanisme pour un droit plus efficace (1992) et par le Sénat relatif à Xynthia (Anziani, 2010a). Nicoud (2011) l'explique

par le fait que l'Etat soit amené à se contrôler lui-même. Dans le rapport de 2004 (Davidovici et al., 2004), on retrouve le même manque de contrôle sismique, puisque les services de l'état « tendent parfois à n'appliquer que les prescriptions d'intérêt local sans toujours prendre en compte les réglementations du niveau national ». Ce manque de contrôle général n'est pas propre à la France. Elliott (2010) et Tabarly (2010) rapportent qu'environ 65% des bâtiments d'Istanbul ne suivraient pas les normes parasismiques, tandis que Jackson (2006) souligne qu'en Iran le code de construction n'a pas eu l'effet escompté à cause du manque de contrôle. Pourtant Elliott (2010) rappelle que les constructions à bas coût et l'absence de contrôle tendent à aggraver la vulnérabilité globale d'Iran et d'Istanbul.

Ainsi, l'Etat se décharge de la responsabilité des contrôles techniques sur les collectivités territoriales, tout en insistant sur « l'impérieuse nécessité du contrôle de la chaîne depuis la conception jusqu'à la construction parasismique » (Davidovici et al., 2004). Wyss et Trendafiloski, (2011) rapportent qu'il est difficile de contrôler une opération en cours et de vérifier l'application de la réglementation parasismique. On peut aussi se demander si toutes les communes (rurales en particulier) ont les moyens pour cela. Selon les élus (55%) et les juristes (30%), cette ambivalence entre politique nationale et responsabilité locale complique la mise en œuvre de la prévention. Alexander (2010) et Özerdem et Jacoby (2006) rapportent exactement les mêmes causes dans la gestion complexe et chaotique des situations de crise sismique lors de L'Aquila et d'Izmit (Turquie, 1999), du fait du brouillage institutionnel des responsabilités des acteurs nationaux, régionaux ou locaux. L'empilement des gouvernances se traduit par une certaine incompatibilité des politiques entre les différents acteurs, se traduisant par des contradictions entre la politique locale et les autres niveaux de gouvernance (Birkmann et al., 2010 ; Potsiou, 2010 ; Sanchez et al., 2018).

L'existence de la décentralisation des politiques de prévention des risques naturels est un point négatif pour 67% des élus, 30% des juristes et 35% des techniciens interrogés. En effet, soit les élus ne savent pas en quoi consiste exactement leur rôle, soit ils trouvent que c'est une compétence trop importante pour eux, et qu'ils n'ont pas. Un exemple en France concerne l'essai sismique de Maurienne de 2017 où les élus se questionnaient sur les actions à mener vis-à-vis de la mise en sécurité de la population. Les élus de cette région n'avaient aucune idée de ce qu'il fallait faire et de comment ils devaient réagir. Ils ont alors interrogé la préfecture, qui a répondu de façon institutionnelle, mais non pragmatique car ne leur apportant pas les éléments que les élus auraient souhaités. Pour l'aléa sismique, les élus ruraux se sentent dépassés face à cette compétence à acquérir (20% des élus soient 100% des élus ruraux). Selon ces mêmes élus, cette compétence ne devrait appartenir qu'à l'Etat puisque le risque associé est selon eux diffus et collectif. Pour 17% des juristes interrogés, l'Etat devrait reprendre plus de compétences aux élus et pour 30% d'entre eux l'Etat devrait coordonner l'ensemble des actions concernant le risque sismique, jusqu'aux contrôles techniques en créant des corps spécialisés.

Les institutions françaises et internationales ne sont pas de cet avis. En France, la politique de prévention « relève d'une compétence partagée, impliquant les services déconcentrés de l'Etat, les collectivités territoriales » (MTES, 2017b) sans oublier la participation primordiale des citoyens. L'Etat s'appuie donc sur les collectivités territoriales pour mettre en place sa politique de prévention et de réduction des risques naturels, comme le suggère l'ONU dans son Cadre d'actions de Hyōgo en 2005 (UNISDR, 2005). En effet, compte tenu des facteurs locaux différents et complexes, avoir recours à la décentralisation des responsabilités et des moyens est une stratégie qui permet de faire prendre conscience de l'existence des risques naturels aux décideurs locaux (UNISDR, 2005). Collier et al., (2013) voient la décentralisation comme un apport qui permet de tirer parti des connaissances antérieures des différents acteurs pour améliorer la gestion des catastrophes, en renforçant la cohésion locale à l'aide d'actions efficaces et pragmatiques. Par conséquent, les compétences sont transférées aux collectivités locales, ce qui leur donne une responsabilité supplémentaire qu'elles ne peuvent pas toujours assumer par manque de connaissances et de moyens (selon 90% des élus, 55% des juristes et 31% des techniciens). A titre d'exemple, l'augmentation de la population de certaines communes péri-urbaines submerge les capacités locales à délivrer des permis de construire (Huppert et Sparks, 2006 ; Basher, 2006 ; Birkmann et al., 2016). Ce transfert ne doit pas être sans compensation et l'ONU (2005) insiste sur le fait d'accompagner cette décentralisation par un transfert d'autorité et de compétences, par l'attribution de ressources et de moyens supplémentaires, et par l'accès aux informations nécessaires afin de mettre en place les mesures pour réduire le risque, cet accompagnement étant souvent oublié.

Par ailleurs, 37% des élus interrogés indiquent leur crainte de voir le risque sismique devenir une compétence obligatoire comme le risque inondation au travers de la loi MAPTAM de 2014. Cette loi précise une nouvelle compétence GEMAPI (gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations) pour les métropoles afin de se protéger des inondations (art. L211-7 du code de l'environnement, loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 de modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles). Une distinction entre grandes et petites villes s'opère alors, que l'on retrouve aussi à l'échelle mondiale. Birkmann et al. (2016) indiquent que la croissance démographique et le développement urbain sont très importants dans les villes de taille petite et moyenne. Elles sont plus vulnérables que les mégapoles vis-à-vis des catastrophes naturelles car les données et les informations y sont limitées, la puissance politique est moindre, et les ressources et les capacités sont moins répandues. Ainsi les grandes agglomérations peuvent mieux intégrer le risque sismique par rapport aux petites agglomérations, augmentant en France l'inégalité de traitement des communes vis-à-vis des risques naturels, comme l'illustre le cas de la Maurienne cité précédemment. Ces dernières ont besoin de plus de protection contre les catastrophes extrêmes et doivent augmenter leur résilience selon Birkmann et al. (2016). Pour participer à cette amélioration, la conférence Habitat III a suggéré pour ces petites villes de normaliser leurs infrastructures pour un

meilleur développement urbain, de préserver les ressources pour se préparer au désastre, d'améliorer la collecte des données afin de réduire les risques, d'optimiser la planification pour une meilleure cohésion sociale et d'améliorer la gouvernance (Dilley, 2006 ; Birkmann et al., 2016).

2.3.5 Vis-à-vis de la responsabilité juridique

C'est en 1810 que l'infraction par imprudence est établie dans le code pénal. Le concept de responsabilité est central dans la mise en place des politiques d'aménagement mais jusque dans les années 1980, les personnes publiques ne peuvent être poursuivies (impunité de fait des élus).

En droit, les personnes publiques, dites aussi personnes morales de droit public, sont une entité dotée de la personnalité juridique qui a des droits et des obligations (Auby, 1979 ; Guérin, 2016), notamment parce qu'elles ont un devoir d'intérêt général et de respect de la réglementation du droit administratif (Frier et Petit, 2015). L'Etat, les collectivités territoriales, les élus et les établissements publics sont des exemples de personnes morales de droit public. A partir des années 80, la judiciarisation de la société permet d'engager pénalement des poursuites contre les élus. Ce changement est provoqué par la nouvelle attitude des victimes, accompagnée d'une médiatisation plus pressante des affaires. C'est alors dans les années 90 que naît la République Pénalisée (Garapon et Salas, 1996). L'Etat a un rôle central en matière de prévention et de réglementation des risques (Guettier, 2011). La question de la responsabilité des élus devient un sujet sensible et ces derniers craignent les poursuites engageant leur responsabilité. Ils tentent à deux reprises de réagir :

- (1) Lors de la loi du 13 mai 1996, sans répercussions majeures, relative à la responsabilité pénale pour des faits d'imprudence (Loi n°96-393 du 13 mai 1996), qui impose une appréciation de ces délits qui ne sont constitués que lorsqu' « il est établi que l'auteur des faits n'a pas accompli les diligences normales compte tenu, le cas échéant, de la nature de ses missions ou de ses fonctions, de ses compétences ainsi que du pouvoir et des moyens dont il disposait » (Loi n°96-393 du 13 mai 1996 ; Cans et al., 2014).
- (2) Lors de la loi du 10 juillet 2000 (dite loi Fauchon) qui précise la définition des délits non intentionnels (Loi n°2000-647 du 10 juillet 2000). Elle modifie l'article 121 du code pénal en y ajoutant l'alinéa 4. « L'objectif est de réduire le domaine de la responsabilité pénale des personnes physiques, et exige désormais une faute qualifiée lorsque le lien de causalité entre la faute et le dommage est directe » (Cans et al., 2014). Par conséquent, « les personnes physiques qui n'ont pas causé directement le dommage, mais qui ont créé ou contribué à créer la situation qui a permis la réalisation du dommage ou qui n'ont pas pris les mesures permettant

de l'éviter » peuvent être reconnues pénalement responsables qu'en cas de faute qualifiée : soit en ayant « violé de façon manifestement délibérée une obligation particulière de prudence ou de sécurité prévue par la loi ou le règlement, soit en ayant commis une faute caractérisée et qui exposait autrui à un risque d'une particulière gravité qu'elle ne pouvait ignorer » (Loi n°2000-647 du 10 juillet 2000).

Même si les élus sont de plus en plus tenus pour responsables, Maréchal (2010) constate, certes, plus de poursuites ces dernières années mais elles n'ont été suivies que rarement de condamnations. Les élus interrogés (31%) craignent (ou regrettent) cependant la médiatisation des poursuites, également constaté par le Conseil d'Etat (2005).

Selon les jurisprudences et 100% des juristes interrogés, il existe plusieurs responsabilités qui peuvent être retenues pour les personnes publiques. Elles sont évoquées dans deux juridictions : la juridiction administrative et la juridiction pénale. Le choix de la juridiction dépend de la faute commise et de la nature du sinistre.

Premièrement, la juridiction administrative concerne la responsabilité administrative qui se décompose en responsabilité pour faute et en responsabilité sans faute. La responsabilité pour faute en matière de risque naturel résulte le plus souvent de l'exercice des pouvoirs de police (Frémaux, 2002). La responsabilité est souvent liée à la légalité, c'est-à-dire « qu'une mesure illégale est fautive et, si elle entraîne un dommage, elle est susceptible d'engager la responsabilité » (Cans et al., 2014). Dans la faute, il est possible de distinguer la faute personnelle de la faute de service. Cette qualification est primordiale pour déterminer la compétence du juge qui pourra se prononcer sur la responsabilité. La faute personnelle conduit à poursuivre une personne physique qui peut être jugée devant un juge judiciaire. A contrario, pour une faute dite de service, le juge compétent sera le juge administratif. Concernant la faute, deux distinctions là aussi peuvent être faites à savoir la faute simple et la faute lourde. Les effets et les conséquences liés à cette distinction sont différents, avec un impact sur la nature de la responsabilité. Par conséquent, d'après Cans et al. (2014), dans le domaine des risques naturels, face à la complexité des situations à maîtriser, la responsabilité sera susceptible d'être engagée uniquement si la faute lourde est retenue. Toutefois, lorsque la catastrophe naturelle est qualifiée de cas de force majeure, les personnes publiques sont exonérées de leur responsabilité. Cependant, Cans et al. (2014) mentionnent que les juges exigent des conditions de plus en plus contraignantes pour que le cas de force majeure soit retenu. La jurisprudence montre par exemple qu'en connaissance des événements du passé, le cas de force majeure ne peut être retenu, comme dans le cas de l'affaire Xynthia de 2010 (TA Nantes, 24 décembre 2017, req. n°1504946 ; CAA Nantes, 10 décembre 2019, n°s 18NT01531, 18NT01546, 18NT01620, 18NT01621, 18NT01642).

Deuxièmement, la juridiction pénale demande l'existence d'une faute caractérisée, comme la mise en danger d'autrui, qui est un délit de prévention. Pour cette accusation,

le raisonnement se fait cette fois sur un risque certain même s'il n'est pas immédiat (arrêt du 3 mars 2004 ; Cass. Crim., 14 avr. 2015, n° 14-85335). Si le risque est incertain, on se trouve alors dans une logique de précaution dans laquelle les juges ne peuvent raisonner que sur des homicides, c'est-à-dire qu'il faut attendre que le dommage survienne. Cette difficulté décrite par Rousseau (2011 ; 2015) n'est pas encore bien fixée ni bien définie par la jurisprudence, tant que la réalité et la perception du risque ne sont pas bien appréciées. Par conséquent, afin de retenir une faute, l'appréciation et la considération du risque sont essentielles : plus le risque est identifiable, plus la responsabilité peut être engagée. Pour l'instant, les juristes interrogés considèrent à 85% le cas du risque sismique comme un cas virtuel en France, avec par conséquent un engagement difficile d'une quelconque responsabilité.

De plus, la responsabilité pénale ne peut être engagée qu'en cas de faute. L'article 121-3 du code pénal définit la faute pénale en précisant « qu'il n'y a point de crime ou de délit sans intention de le commettre. [...] Lorsque la loi le prévoit, il y a délit en cas d'imprudence, de négligence ou de mise en danger délibérée de la personne d'autrui ». Pour les risques naturels, seuls sont concernés les délits non intentionnels. Un seul cas de jurisprudence française existe, celui de Xynthia. Seuls 41% des élus interrogés savent qu'ils peuvent encourir des sanctions au pénal, mais à mettre en parallèle avec le pourcentage d'élus (42%) qui ne connaissent pas les sanctions pénales ou administratives auxquelles ils peuvent être exposés ou qui ne réfléchissent absolument pas à cette question.

Ainsi, les condamnations administratives et pénales existent dans le domaine des risques naturels, souvent en lien avec des infractions en matière d'urbanisme. 65% des élus interrogés sont conscients de leur responsabilité vis-à-vis de la gestion des risques naturels, mais 19% d'entre eux estiment qu'aucune responsabilité ne peut être engagée par rapport au risque sismique. En réalité, les conditions d'engagement de leur responsabilité sont complexes, notamment pour le sismique car afin d'engager la responsabilité d'une personne, l'existence d'un dommage est « le point de départ de toute action juridique » (Cans et al., 2014). De ce fait, si aucun dommage n'a été causé, aucune responsabilité ne peut être engagée (Cans et al., 2014). Les juristes interrogés (100%) sont unanimes à dire qu'il faut attendre qu'un séisme ait lieu et qu'il provoque un dommage pour engager une quelconque poursuite.

Pour engager la responsabilité par imprudence, il faut soit chercher la responsabilité le jour de l'accident, soit chercher en amont l'existence de moyens non mis en œuvre pour prévenir le risque. Pour autant qu'un dommage ait été causé, encore faut-il démontrer un lien de causalité (Cans et al., 2014). Par conséquent, pour la majorité des élus interrogés (56%), la responsabilité engagée liée au risque sismique est celle des acteurs de la construction, puisque la réglementation doit être respectée et appliquée en totalité dès son entrée en vigueur, comme le souligne 100% des juristes. Pour autant, c'est un devoir des élus de s'en assurer via notamment les permis de construire. De ce

fait, si la réglementation n'est pas suivie, plusieurs responsabilités peuvent être engagées en raison de la solvabilité et des obligations des différents acteurs : celle des acteurs de la construction, de l'élu, de la commune, de l'Etat ou des techniciens. Si elle n'est pas suivie, il peut y avoir une procédure en responsabilité une fois le sinistre survenu pour infraction de négligence. Les juristes vont également plus loin car selon 77% d'entre eux, renforcer un bâtiment est aussi une obligation : si aucune action n'est prise pour renforcer les bâtiments vulnérables connus, une procédure en responsabilité peut être enclenchée une fois le sinistre réalisé. Dans tous les cas, le sinistre doit avoir eu lieu et un lien de causalité entre les conséquences et les actions doit être prouvé pour engager une quelconque responsabilité. A ce jour, aucune jurisprudence n'existe pour ce type de cas puisqu'aucun séisme majeur récent ne s'est produit en France.

La jurisprudence française et internationale montre pourtant que les décideurs publics sont de plus en plus confrontés à leur responsabilité en matière de risques naturels. Ces jurisprudences montrent que la part d'interprétation est très réduite. Elle s'arrête là où le juge le dit puisque la réglementation parasismique est une obligation. La majorité des élus (87%) mentionnent leurs prérogatives, citées dans l'article L1221-1 du Code général des collectivités territoriales (CGCT) du fait de leur pouvoir de police, à savoir le devoir d'informer, de prévenir, d'alerter, de planifier et de gérer la crise. La majorité des procès couverts par les juristes interrogés, en lien avec les risques naturels, et confirmée par la jurisprudence française, est liée à une faute au moment de la délivrance du permis de construire (par exemple, TA Nantes, 24 novembre 2017, req. n°1504946, affaire Xynthia ; CE, 15 février 2016, req., n° 389103 ; CAA Douai, 23 janvier 2014, req. n° 12DA01201). La maîtrise de l'urbanisation n'est pas aisée, en particulier face à une urbanisation intensive dans des zones concernées par les risques naturels. L'affaire Xynthia constitue l'un des exemples les plus remarquables de ces dernières années. Elle confirme les dires de certains juristes interrogés (20%) qui mentionnent que beaucoup d'élus essaient de contourner la règle d'urbanisme en attribuant des autorisations en zones inondables. Tous les juristes interrogés reconnaissent aussi que depuis l'affaire Xynthia, ils recommandent une certaine prudence dans la délivrance des permis de construire, du fait de cette nouvelle jurisprudence en matière de responsabilité pénale des élus. Cependant, la jurisprudence reste claire sur la responsabilité du maire qui ne peut être retenue si au moment de la délivrance du permis, celui-ci n'avait pas connaissance d'informations lui permettant d'anticiper le risque. Pour certains juristes (40%), cela signifie qu'il n'y a pas de remise en cause du modèle de responsabilité des décideurs publics dans la délivrance des permis.

La jurisprudence française sur le risque sismique apprécie la responsabilité des acteurs mais elle n'existe pas ou très peu. Elle ne porte que sur les attributions des permis de construire, qui pour 100% des élus et des techniciens interrogés, est le seul moment où ils sont confrontés à la problématique sismique. Le cas de l'affaire n°1104684 du Tribunal Administratif de Grenoble du 13 mars 2014 relatif à l'absence d'attestation de contrôle

sismique illustre le ressenti des juristes interrogés. Cette jurisprudence porte sur l'attribution d'un permis de construire pour un château d'eau alors que l'attestation de contrôle sismique était absente au moment du dépôt du dossier. L'article R 431-16 du code de l'urbanisme exige pourtant ce document lors de la demande, qui, en l'espèce, est intervenue le 22 avril 2011, avant le 1^{er} mai 2011, date d'entrée en vigueur de la nouvelle réglementation parasismique (Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 ; Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 ; Arrêté du 22 octobre 2010). Néanmoins, le juge administratif n'a pas demandé la destruction de l'édifice mais a accordé un permis de construire modificateur prenant en compte la future attestation du contrôleur technique : « le permis de construire en litige est susceptible de régularisation par la délivrance d'un arrêté en portant, sur ce point, modification ; [...] un délai de un mois à compter de la notification du présent jugement aux fins d'obtenir la régularisation du permis de construire initialement délivré [...] et, en attendant de surseoir à statuer sur le moyen tiré du défaut d'attestation d'un contrôleur technique mentionnant qu'il a fait connaître au maître d'ouvrage son avis sur la prise en compte, au stade de la conception, des règles parasismiques » (TA Grenoble, 13 mars 2014, req. n°1104684).

La jurisprudence internationale, même si elle n'est pas très exhaustive, a déjà statué sur des cas d'affaires liées au risque sismique. En voici quelques exemples qui illustrent différents niveaux de responsabilité engagée.

Lors du séisme de L'Aquila en 2009, une personne publique a vu sa responsabilité engagée : Mr. De Bernadinis, membre public de la Commission Grand Risque de la Protection Civile Italienne, ayant transmis des informations rassurantes à la population, informations qui n'étaient pas fondées sur la base scientifique des experts. Ces informations ont été interprétées par la population persuadée ainsi qu'aucun nouveau séisme n'était à attendre. Parmi les accusés, la Cour d'appel n'a condamné que ce politicien pour négligence en raison de ses commentaires rassurants à destination de la population et portant sur le risque de survenance d'un séisme (Alexander, 2010 ; rapport Il tribunale di L'Aquila, 2012 ; Alexander, 2014b ; Scotti, 2014 ; Arcuri et Simoncini, 2015 ; Scotti, 2015). Bien que le système judiciaire et le système administratif en Italie soient différents de ceux français, cet exemple montre que la responsabilité d'un élu ou d'un technicien en charge de la gestion des risques peut être retenue.

Lors du séisme d'Izmit en 1999, la responsabilité de l'Etat a été engagée dans la requête n°14350/05 de Mr. Zel contre la Turquie. Dans ce cas, les requérants « reprochent aux autorités municipales d'avoir autorisé des sociétés immobilières à construire des immeubles d'habitation [...] dans une région à haut risque sismique et de s'être abstenues d'exercer les contrôles nécessaires pour vérifier la conformité de ces immeubles ». La Cour Européenne des Droits de l'Homme (CEDH) en 2015 rappelle d'après l'article 2 de la Convention, l'obligation de prévention des Etats face aux séismes, via l'adoption de mesures appropriées pour réduire leurs effets, portant sur l'aménagement et la maîtrise de l'urbanisme. Dans ce cas précis, la CEDH a observé « que les autorités nationales

étaient conscientes du risque de séisme auquel était soumise la région sinistrée. Toutefois, le tremblement de terre a eu des répercussions catastrophiques en termes de vies humaines en raison de l'effondrement d'immeubles qui ne répondaient pas aux normes de sécurité et de construction applicables à la zone concernée. A cet égard, il apparaît établi que les autorités locales dont le rôle était de contrôler et de surveiller ces constructions ont manqué à leurs obligations en la matière ». Les autorités locales, chargées de délivrer des permis de construire, avaient donc un rôle et une responsabilité de première importance dans la prévention des risques liés aux effets d'un séisme. Cependant, la CEDH relève que cette partie du grief est tardive et la rejette en application des articles 35 §§ 1 et 4 (conditions de recevabilité) de la Convention européenne des droits de l'homme. Les responsabilités finalement retenues en première instance sont celles des maîtres d'œuvre qui n'ont pas respecté les normes exigées, des maires qui ont négligé la mise en œuvre des plans d'urbanisation et qui ont approuvé des pratiques illégales de construction, et des cadres techniques des municipalités responsables du contrôle des constructions qui ont manqué à leur devoir. Ces protagonistes avaient connaissance en tout état de cause du risque possible et avaient été éduqués et sensibilisés à l'occurrence probable d'un séisme (Kasapoğlu and Ecevit, 2003). Cependant, aucune responsabilité n'a été retenue au final pour faute de preuves ou pour problèmes de procédure (Akgungor, 2007).

Ainsi en se basant sur ces jurisprudences internationales, on constate que trois raisons peuvent être invoquées : (1) un défaut d'information, (2) un défaut de contrôle et de prescriptions techniques, (3) un défaut de conception, toutes ayant été relevées par les personnes interviewées. En analysant les jurisprudences internationales et en s'inspirant des faits concernant les risques naturels en général, il est possible selon les juristes interrogés (87%) de faire un parallèle et d'imaginer ce qu'il pourrait se passer en France lors d'un séisme. Pour le risque sismique, la responsabilité en cas de faute revient en premier lieu aux acteurs de la construction, même si elle peut être partagée par plusieurs acteurs. Les élus (44%) et les techniciens (17%) interrogés insistent sur le fait que la responsabilité de l'Etat est rarement engagée, mais qu'il est possible que l'Etat partage certaines responsabilités lors d'affaire concernant les risques naturels. Il est vrai que mettre en cause cette responsabilité a souvent été perçue comme une remise en cause de l'Etat lui-même, chose inacceptable avant 1980 (Garapon et Salas, 1996 ; Cans et al., 2014). Mais l'affaire Xynthia illustre parfaitement ce changement de paradigme, affaire au cours de laquelle le Tribunal Administratif de Nantes a retenu la responsabilité administrative de la commune à 50% pour manquement au devoir du maire, la responsabilité administrative de l'Etat à 35% pour manquement à son devoir dans la mise en place du PPRI, et celle de l'association syndicale de gestion des rives à 15% pour manquement à son devoir d'entretien de la digue (CA Poitiers, 12 décembre 2014, req. n°877/2014 ; TA Nantes, 24 novembre 2017, n°1504946).

La CEDH sur le fondement des articles 2 et 8 de la Convention européenne des droits de l'homme exige que les autorités prennent les mesures les plus performantes possibles pour la protection des biens et des personnes, ainsi que des mesures de prévention et de précaution (Vial, 2011). L'article 2 traite des catastrophes produites et des pertes humaines constatées, tandis que l'article 8 traite des catastrophes non produites et discute de leur éventualité. Ainsi « l'absence de toute législation de l'Etat, son inaptitude et son inapplication seront de nature à engager sa responsabilité » (Arrêt Boudeieva c.a.c/ Russie du 22 mars 2008 req. n°15339/02). Les juristes interrogés (80%) s'accordent à dire qu'en théorie, si les élus connaissent le risque et n'ont pas pris les moyens nécessaires à sa prévention, leur responsabilité pourrait être engagée en cas de séisme destructeur. Cependant, tout dépend de la nature même du risque, puisqu'au regard des textes de jurisprudence en droit pénal, rappelons que le risque est défini dans une logique de prévention et non dans une logique de précaution. En d'autres termes, le risque dont il est question en droit pénal est un risque certain voire quasi-certain (Rousseau, 2011 ; Joye et al., 2015). Or pour le risque sismique, on se trouve face à un risque qui n'est pas qualifié de quasi-certain, et de ce fait, la logique serait de précaution. Pour autant, les textes actuels de jurisprudence parlent de risque sans préciser si c'est un risque certain ou incertain, et peu de jurisprudences traitent d'exemples où les juges ont accepté de raisonner sur un risque incertain. Si jamais c'était le cas, alors l'affaire se déplacerait sur la preuve de la causalité. Pour déterminer la responsabilité, il faudrait qu'un lien de causalité soit prouvé entre le fait présenté comme étant à l'origine du dommage et le dommage pour lequel il est demandé réparation.

Pour conclure, les autorités ont l'obligation d'établir un cadre législatif et administratif propre à offrir une protection effective des populations (Article 2 de la Convention européenne des droits de l'homme). La responsabilité des personnes publiques est de plus en plus engagée comme le montre les jurisprudences décrites précédemment, même si, comme le souligne Shah (2006), peu de responsabilités aient été retenues en cas de dommage et par conséquent au cas de malfaçons dans un bâtiment. Il semble alors peu probable de retenir la responsabilité des élus dans ces cas complexes de catastrophes naturelles, même s'ils sont souvent responsables de fautes caractérisées de négligence selon les juristes interrogés (31%), constat également mentionné par Pérouse et Déli (1999). Ces jugements ont le mérite de mettre en lumière le problème des mécanismes d'autorisation et de contrôle des constructions, présents dans tous les pays dont la France (Pérouse et Deli, 1999). Gardons cependant à l'esprit que les responsabilités vis-à-vis du risque sismique ne pourront être reconnues et engagées que si un séisme survient et qu'il y a des dommages.

2.4 Analyses

L'analyse de l'enquête met en exergue quatre points pour lesquels il est possible d'apporter des réponses aux acteurs du risque sismique. Le comportement des élus, la vision politique et la compréhension de la responsabilité sont des facteurs sur lesquels les élus s'appuient pour améliorer la gestion de leur politique relative aux risques naturels.

2.4.1 Les élus face au risque sismique

La France métropolitaine compte 628 arrêtés de catastrophes naturelles liées aux séismes entre 1982 et 2015 (Gaspar, 2016), nombre relativement faible plaçant le pays parmi les pays à sismicité modérée. La perception du risque sismique selon les élus est très variable. Peu n'ont pas de perception de ce risque (7% des élus) et les autres ont une perception variable. Parmi eux, trois groupes peuvent être identifiés : les sachant actifs (37%), les sachant perdus (16%) et les sachant inactifs (39%).

Les sachant inactifs ne se sentent pas concernés par le risque sismique. Ils se préoccupent d'autres risques naturels qui selon eux sont plus présents en France. En effet, entre 1982 et 2015, 74% des arrêtés catastrophes naturels ont été pris pour les inondations, 22% pour les mouvements de terrain, 3% pour les phénomènes atmosphériques et seulement 1% pour les séismes (Gaspar, 2016). Ce groupe représente majoritairement les élus des Pyrénées, d'Alsace et un peu des Alpes, régions où l'aléa est le plus fort en Métropole. Même s'ils ont conscience de l'existence du risque sismique, il n'est pas perçu comme important et rien n'est fait pour s'en prémunir. Ce constat pointe le défaut de la culture du risque, nécessaire à la prévention du risque sismique et qui doit être portée par les élus.

Ce sont dans les villes ayant récemment subi un séisme que les catégories d'élus composant les sachant perdus ou les sachant actifs se trouvent. Tous sont bien conscients de la réalité du risque sismique, même si certains (47%) ont peu de connaissances de ce phénomène. Les sachant perdus se sentent généralement démunis face à la directive administrative mise en place, qui les laisse seuls face à leur politique d'aménagement du territoire. En effet, en plus de ne recevoir aucune aide de l'Etat, ils se sentent en décalage par rapport à la connaissance scientifique et les actions publiques mises en place. De ce fait, les informations ciblées de la part des scientifiques à destination des élus prennent tout leur sens. Les sachant actifs sont plus avancés dans leur connaissance du phénomène et dans la mise en place d'actions préventives. Une culture du risque est développée grâce aux retours d'expériences et au travail en collaboration avec des experts scientifiques et des techniciens. Ce groupe est souvent dans des agglomérations importantes, reflétant encore une fois l'inégalité des citoyens vis-à-vis du risque sismique.

2.4.2 Vulnérabilité ou résilience

La vulnérabilité est définie selon l'ONU comme les « conditions déterminées par des facteurs ou processus physiques, sociaux, économiques ou environnementaux qui accentuent la sensibilité d'une collectivité aux conséquences des aléas » (UNISDR, 2005). Elle définit également la résilience comme « l'aptitude d'un système, d'une collectivité ou d'une société potentiellement exposée à des aléas à s'adapter, en opposant une résistance ou en se modifiant, afin de parvenir ou de continuer à fonctionner convenablement avec des structures acceptables. La résilience d'un système social est déterminée par la capacité de ce système à s'organiser de façon à être davantage à même de tirer les enseignements des catastrophes passées pour mieux se protéger et à réduire plus efficacement les risques ». La vulnérabilité et la résilience sont deux concepts utilisés pour analyser et caractériser les risques (Barroca et al., 2013 ; Quenault, 2015). Guezo et Verrhiest (2006) ont défini un cadre de vulnérabilité urbaine qui regroupe les vulnérabilités sociales et celles du territoire. Ils constatent que la société urbaine est vulnérable d'un point de vue de son organisation et de sa dépendance, tandis que le territoire est vulnérable du point de vue de sa dimension géographique, structurelle et de sa dépendance. On retrouve ces différentes notions de façon indirecte auprès des personnes interrogées. En effet, pour 84% des élus, 72% des techniciens, 66% des secouristes et 66% des assureurs, l'impact méconnu des séismes sur les structures est une lacune à combler pour mieux s'organiser. La modélisation des conséquences apparaît alors comme essentielle.

La dépendance est une caractéristique qui est souvent avancée par les secouristes, lucides d'être dépendants d'une aide extérieure en cas de catastrophe car eux même seraient affectés. Enfin l'organisation est une dimension qui est souvent indiquée par les acteurs interrogés (63%), notamment les assureurs qui se considèrent comme mis à l'écart lorsqu'il y a une catastrophe alors que selon eux, ils devraient être en première ligne puisqu'ils participent aux dédommagements. Les élus interrogés (59%) savent aussi que l'organisation ne sera pas comme celle indiquée dans les plans communaux de sauvegarde, les décideurs nationaux voulant prendre la main, laissant les élus locaux sans indications sur le rôle qu'ils doivent jouer. L'organisation sera « brouillée » comme indiqué précédemment lors du séisme de L'Aquila. Les séismes affectent ainsi les villes en tant que système et pas seulement en tant qu'un ensemble de bâtiments. Il faut donc « tenir compte de façon plus efficace des risques de catastrophe dans les politiques, plans et programmes relatifs au développement durable à tous les échelons, en privilégiant la prévention, l'atténuation des effets, la préparation et la réduction de la vulnérabilité » (UNISDR, 2005).

L'analyse des entretiens distingue également les deux notions de vulnérabilité et de résilience. Certains ont évoqué le fait que la construction parasismique est un moyen de protection de la population et ils soulignent la nécessité d'être plus efficace dans

l'application des normes parasismiques pour tout le parc immobilier. Les comportements des élus (65%) et des techniciens (43%) interrogés reprennent aussi des comportements résilients définis par plusieurs auteurs (Manyena, 2006 ; Coaffe et Bosher, 2008 ; Sutley et al., 2017). Ils privilégient des actions pour un retour à la normale rapide en adaptant leur comportement, en pensant l'espace public avec des lieux de rassemblement et en travaillant sur la vulnérabilité des quartiers. Par exemple, certains élus (41%) et techniciens (59%) mentionnent que la résilience urbaine passe par la préparation et l'atténuation de la catastrophe ; d'autres (36% des élus, 42% des techniciens) mentionnent la résilience de type ingénierie qui consiste à un retour à la normale le plus rapidement possible, avec des reconstructions ayant les mêmes défauts que celles d'avant l'éventuelle catastrophe, conservant ainsi la même vulnérabilité (Klein et al., 2003 ; Davoudi et al., 2012 ; UN-HABITAT, 2012). Enfin certains élus (15%) mentionnent le concept de résilience socio-écologique qui est la capacité d'absorber les perturbations, de continuer à fonctionner, de s'auto-organiser et d'apprendre afin de s'adapter à une situation future (Folke et al., 2002 ; Berkes et al., 2003). Le plan ORSEC en France s'inspire de ce fonctionnement (Décret n°2005-1157 relatif au plan ORSEC) en anticipant et en se préparant pour réagir au mieux. Enfin, même si ce terme n'a jamais été mentionné, la résilience évolutionnaire est également décrite par certains auteurs, considérant l'opportunité d'une catastrophe pour mieux reconstruire la ville (Manyena et al., 2011 ; Sanchez et al., 2018), ce qui a été le cas à la suite du tremblement de terre de Christchurch en 2010 (Canterbury earthquake recovery authority, 2012).

Plusieurs élus (23%) et techniciens (38%) interrogés trouvent que la réglementation parasismique n'est pas adaptée à la situation d'un séisme. En effet, ils voudraient que les bâtiments et l'environnement gardent leur fonctionnalité et que les infrastructures ne soient pas détruites, c'est-à-dire qu'elles s'adaptent à un séisme, pour un retour à la normale rapide. Ces personnes interrogées préféreraient ainsi adopter la notion de résilience intégrée dans leur politique d'aménagement du territoire définie par Bosher et Dainty (2011) et Bosher (2014) qui concerne « la capacité à un environnement construit ou à des bâtiments à s'adapter aux menaces existantes et émergentes ». Cependant, le niveau d'exigence requis dans les règles parasismiques est en-deçà de ce niveau de performance, se focalisant sur la sauvegarde des vies humaines, et déjà leur application systématique est difficile.

La résilience devient à partir des années 2000 le terme en vogue dès que l'on traite du risque sismique. La conférence Habitat III tenue en 2016 rappelle la directive du Cadre d'actions de Hyōgo sur l'importance et le caractère primordial de faire des villes plus résilientes, inclusives et durables (Birkmann et al., 2016). Les élus interrogés (65%) trouvent que la résilience permet de prendre conscience des risques sur leur territoire, ce qui a pour conséquence de les responsabiliser d'avantage (Quenault, 2015), à moindre coût, et pour se donner bonne conscience puisque in fine si un événement se produit les dommages et les victimes ne seront pas réduits. Toutes les personnes interrogées (100%

des secouristes, 85% des techniciens et 65% des élus) sont unanimes sur le fait de dire qu'il est indispensable de faire intervenir les citoyens dans les actions de prévention, ne serait-ce qu'en les éduquant aux risques naturels. Déjà en 2004, le bilan de la Stratégie de Yokohama (Hyōgo, 2005) soulignait l'importance d'intégrer les populations dans cette démarche.

Cependant dans les enquêtes, on constate que certains acteurs (42% des techniciens, 30% des élus) n'intègrent ni n'adaptent le concept de résilience. Certains élus (35%) ne comprennent même pas l'importance de faire mieux, de s'améliorer et de se préparer, et préfèrent la stratégie la moins couteuse et la moins complexe pour leur politique d'aménagement, comme le soulignent également Victor et al. (2013), Hassler et Kohler, (2014) et Sanchez et al. (2018). Ainsi le concept de vulnérabilité est privilégié attendant que l'impact arrive, sans prévoir à l'avance le redressement de la ville touchée. L'opposition entre vulnérabilité et résilience dans les communes augmentent les inégalités entre elles (Moffat, 2014).

2.4.3 Prises de décision

Les séismes peuvent avoir des conséquences sociales et économiques importantes. Pour 90% des élus interrogés, les prises de décisions se font principalement d'un point de vue social. La sauvegarde des citoyens est une prérogative obligatoire du maire à travers ses pouvoirs de police (art. L2212-1 du CGCT ; art. L2212-2 du CGCT). Les pouvoirs de police du maire ont pour objet « d'assurer le bon ordre, la sureté, la sécurité, la salubrité et l'ordre public sur le territoire et la commune ». Tout en suivant la logique de ces articles, les décisions des élus interrogés concernant la politique d'aménagement du territoire portent sur la dimension opérationnelle (20%) en cas de crise, à savoir comment mieux anticiper ou améliorer les actions opérationnelles d'urgence. Cette dimension intègre la fonctionnalité des services (22%), l'amélioration de l'intervention des secours (10%), le retour à la normale rapide (53%) et les zones de rassemblement (15%). Un troisième facteur de décision selon les élus interrogés porte sur la dimension économique (16%) comprenant la réduction de l'endommagement (15%), le coût des secours (10%), la perte de fonctionnalité (20%) et la reprise des activités (55%). Un aspect qui est souvent mis en avant par les personnes interrogées (15%) est la prévention et la prévision afin de développer une culture du risque et de sécurité. Enfin, quelques élus indiquent se préoccuper de la santé publique (4%). Toutes ces décisions sont prises grâce au modèle réglementaire obligatoire. La modélisation des conséquences socio-économiques d'un séisme peut alors permettre de tester certaines des variables décisionnelles, des actions à mener en priorité pour un coût/bénéfice favorable et supportable, intégrant également la notion de responsabilité.

La gestion de la santé publique se situe pour 94% des élus et des techniciens interrogés en dernière position dans les facteurs décisionnels. Non qu'elle soit sans intérêt mais plutôt qu'il est difficile pour eux de voir comment ils peuvent intégrer ce facteur dans leur politique tenant compte du risque sismique. Trois des interviewés ont soulevé le problème des déchets et des gravas qui, suite à un tremblement de terre, et sans mentionner leur coût économique, peuvent participer à la propagation des épidémies. L'impact d'un séisme sur l'aspect sanitaire est souvent une question d'échelle à long terme (Noji, 2005). L'UNISDR (The Lancet, 2011) insiste sur sa prise en compte en anticipation des catastrophes naturelles, en complément de l'impact socio-économique. Cependant, même si les pertes socio-économiques peuvent être importantes, le fait de ne pas se représenter les conséquences sanitaires des catastrophes naturelles n'incite pas les politiques à être proactives sur ce sujet. C'est pourquoi l'UNISDR propose depuis quelques années des études d'impact sur la santé des populations, afin de changer les programmes d'anticipation et prévention des politiques gouvernementales (The Lancet, 2011).

Une difficulté mise en lumière dans les enquêtes (30% des élus, 45% des techniciens) pour un retour à la normale, est d'identifier à l'avance les sites ou les structures qui doivent être les plus résilients. Selon eux, ces informations pourraient alors servir d'information pour orienter leur politique d'investissement dans la rénovation de leur bâti existant. Ce point avait d'ailleurs été avancé par Guéguen et Dunand. (2010) comme critère de sélection des écoles de la Ville de Grenoble à rénover en priorité. Les composantes culturelles, matérielles et d'infrastructures des villes devraient être considérées pour prendre de telles décisions (Hassler et Kohler, 2014).

De plus, certains juristes (47%) ont mentionné que les cycles électoraux pouvaient être un facteur intégré aux prises de décisions des élus (arrêt de Xynthia, Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199). En effet, la durée des mandatures peut orienter certaines stratégies d'aménagement. Vale (2014) et Davoudi (2014) confirment que les décideurs se concentrent sur des actions ayant des objectifs à termes électoraux. C'est la difficulté du risque sismique, avec des événements ayant des périodes de retour importantes qui nous rappellent que l'investissement présent aura des effets à long terme (Davoudi, 2014 ; Vale, 2014 ; Sanchez et al., 2018).

2.4.4 Un point sur l'assurance CATNAT

Le premier rôle de l'assureur est d'indemniser les sinistrés en apportant des services aux clients. Ils répondent selon eux aux contraintes du terrain et du client. Néanmoins certains auteurs vont plus loin dans la définition du rôle d'un assureur. Par exemple, Dilley (2006) et le courtier AON Benfield (2010) montrent que les assurances peuvent avoir un impact positif dans la prise de conscience du risque auprès de la population et

des gouvernements. Ces auteurs pensent que l'assurance est le seul moyen que les gouvernements ont pour faire de la prévention contre les catastrophes naturelles, affirmation à prendre avec précaution connaissant les relations des auteurs avec l'assurance.

D'ailleurs, les assureurs interrogés ne sont pas de cet avis. Pour eux, faire de la prévention n'est pas leur rôle, mais celui du Fonds Barnier, ce qui finalement rend compte de la spécificité du régime CATNAT français. La fédération française de l'assurance dans son Livre Blanc pour une meilleure prévention et protection contre les aléas naturels (2014) affirme ainsi que « la prévention contre les aléas naturels est avant tout une affaire publique. S'il est vrai qu'elle fait appel à la responsabilité de chacun, elle doit être orchestrée collectivement ». On constate ainsi une spécificité française qui n'est pas transposable ailleurs. Les assureurs interrogés pensent qu'ils ont déjà participé aux actions de prévention en reversant 12% de leurs primes au régime CATNAT, qu'ils ne font pourtant que collecter à la place de l'état auprès des assurés. S'ils devaient agir plus, selon eux cela se reporterait sur les assurés via une augmentation des cotisations, car en aucun cas cette charge devrait être supportée uniquement par les assureurs. Or les assurés ont déjà financé les actions de prévention au travers de leur cotisation pour le Fonds Barnier. C'est ainsi qu'en 2005, le Ministère des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer dans son rapport sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles a confirmé le point de vue des assureurs français en ajoutant en conclusion que « la contribution des assureurs français à la politique de prévention s'avère au total assez limitée » (Dumas et al., 2005).

Cette observation peut s'expliquer par le fait que les objectifs de l'indemnisation et de la prévention sont opposés : la prévention contre les risques naturels a une dimension sociale et reflète un désir de société, alors que la législation sur l'indemnisation est centrée sur une perspective économique (MTES, 2005). En effet, certains assureurs interrogés (66%) estiment que le régime d'indemnisation CATNAT en France ne participe pas à la prévention. La question de l'efficacité d'une même tarification à l'exposition au risque via les actions de prévention se pose aussi. D'une part, l'intérêt de la prévention pour la population est limité et celle-ci ne prend pas forcément conscience de la nécessité des actions préventives mises en place par les pouvoirs publics. D'autre part, l'indemnisation selon la moitié des assureurs interrogés a un rôle dans la prévention grâce aux modulations des franchises suivant l'existence des Plans de Prévention des Risques. L'article L.125-1 du code des assurances rappelle ce principe en « limitant l'indemnisation au cas où les mesures habituelles à prendre pour prévenir [les] dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises ».

Au final en France, les assureurs interviennent très peu dans la politique de prévention des risques naturels à la différence des assureurs d'autres pays où ils semblent plus actifs. Au plan international, les études d'assurance prennent en compte la taille de la ville et l'exposition au risque mais elles devraient aussi faire intervenir les différences

de capacités des communes à traiter les événements majeurs (Birkmann et al., 2016 ; AON Benfield, 2010). Pour le volet sismique, une étude récente mentionne aussi les limites de l'assurance privée dans une région à forte sismicité et à enjeux économiques élevés comme la Californie, en constatant une très faible couverture sismique de la population (Pothon et al., 2019). Le modèle solidaire antinomique au modèle économique américain, aurait dans ce cas-là quelques vertus non négligeables. Cette réflexion va dans le sens des assureurs qui souhaitent une amélioration du régime CATNAT français, tout en conservant le principe de solidarité.

2.5 Résumé et conclusions

L'analyse des interviews, mise en perspective vis-à-vis de la littérature scientifique et institutionnelle, a permis de comprendre à quelles conditions les acteurs du risque sismique se mobilisent pour le déploiement d'une démarche de prévention. Un parallèle avec d'autres risques naturels a été mené.

Plusieurs déterminants ont été révélés grâce à l'analyse qualitative des 65 entretiens tels que le comportement des élus, la vision politique adoptée et la compréhension de la responsabilité. L'analyse qualitative a défini les variables décisionnelles sur lesquelles les élus s'appuient pour le déploiement d'une politique de gestion des risques naturels, telles que les dommages aux structures, le nombre de morts, de blessés, de sans-abri à gérer, les coûts de réparation des bâtiments endommagés ou de leur destruction / reconstruction, l'impact sur l'activité économique (interruption d'activité) et la responsabilité. En raison des données existantes, seules les variables sociales (pertes humaines et nombre de blessés), économiques (pertes économiques directes) et juridiques (quantification de la probabilité de l'engagement de la responsabilité) sont considérées dans la suite de la thèse. Ces trois catégories de variables permettront de développer les modèles de pertes dans la suite de ce travail de recherche, afin d'être un outil d'aide à la décision profitable, efficace et opérationnel pour les élus.

Le comportement des élus dépend de leur perception du risque sismique. Cette perception est liée à l'occurrence des tremblements de terre, et fait donc défaut en France métropolitaine. Le fait que le dernier gros tremblement de terre recensé avec des dommages sociaux et économiques remonte à 1909 n'aide pas à développer cette culture du risque. Comme la mise aux normes des bâtiments et l'application des règles parasismiques ne peuvent être un axe prioritaire pour tous les élus, les acteurs de la

construction et les citoyens ne sont pas non plus incités à adopter un comportement adapté vis-à-vis du risque sismique. L'anticipation n'est pas prioritaire pour de nombreux élus en raison du coût financier nécessaire, comme par exemple pour le renforcement du bâti existant. Pourtant, Huppert and Sparks (2006) indiquent que les dépenses effectuées afin d'obtenir une ville plus résiliente seraient inférieures à celles nécessaires à la reconstruction suite à un évènement majeur.

Bons nombres d'élus adoptent une posture attentiste par manque de connaissances ou par manque de solutions. Ils doivent faire face à d'autres priorités et d'autres contraintes pour gérer leur ville. En revanche, certains sont motivés pour réaliser des actions afin de diminuer les conséquences d'un tremblement de terre. En ce sens, ils suivent les consignes du Cadre d'actions de Hyōgo en 2005 et de la Conférence Habitat III en 2016 qui préconisent fortement les Etats à employer une approche résiliente, sans que cette résilience soit complètement bien définie. Une chose certaine est que le but principal de leur action vise à se protéger des catastrophes naturelles et à aider les plus vulnérables. On constate également un comportement et un point de vue différents entre élus ruraux et élus urbains, nous questionnant sur une certaine inégalité du citoyen à l'échelle du territoire.

La problématique de la décentralisation des compétences entre les gouvernements locaux et nationaux tend à être confirmée lors de chaque catastrophe naturelle telle que le tremblement de terre de L'Aquila en 2010, celui d'Izmit en 1999 et en France l'essai sismique de Maurienne de 2017. Les messages des préfets vers les autorités locales sont incompréhensibles et ne répondent pas à leurs demandes. Il existe donc un flou dans le canal de diffusion pour transmettre la bonne information, celle qui est nécessaire, efficace et attendue.

De plus, les enquêtes ainsi que les jurisprudences montrent que la responsabilité des personnes publiques dans les régions concernées serait étroitement liée à la connaissance du risque en cas de séisme. La faute sera appréciée au regard des moyens et de la compétence de l'élu mais aussi des moyens dont il dispose. De ce fait, depuis la loi Fauchon de 2000, à partir du moment où les élus sont presque systématiquement considérés comme des acteurs indirects, leur responsabilité devrait être étroitement liée à leur prise de conscience du risque sismique et des mesures mises en œuvre pour le contenir.

La jurisprudence nationale et internationale a tendance à engager plus facilement la responsabilité des décideurs publics vis-à-vis des risques naturels. Les personnes publiques, en France, peuvent voir leur responsabilité pénale exposée en matière de catastrophe naturelle comme l'a montré l'affaire Xynthia de 2010 bien que ce risque se

concrétise très peu. La peine est individualisée dans le champ pénal. Toutefois, en ce qui concerne le risque sismique, puisqu'il est qualifié d'incertain et qu'il se trouve dans une logique de précaution, l'événement doit se produire et provoquer des dommages pour pouvoir engager une quelconque responsabilité. Dans ce cas-là, la situation pourrait être jugée dans une logique de prévention et de ce fait, l'identification du lien causalité/dommage est primordial. Le non-respect des règles parasismiques de construction ou alors la minimisation du niveau de risque peuvent aussi engager la responsabilité des personnes publiques.

C'est pourquoi le travail entre scientifiques et décideurs publics est capital afin d'accroître la connaissance des élus. La communication entre tous ces protagonistes doit aussi être plus efficace et adaptée à chaque maillon de la chaîne de communication.

3 Global occurrence models for human and economic losses due to earthquakes (1967-2018) considering exposed GDP and population

In moderate-to-low seismic hazard regions, estimating the socio-economic consequences of an earthquake on the regional scale is a costly and difficult task. This study analyses existing global earthquake databases to build a loss flat file of 445 earthquakes since 1967 with a magnitude greater than 4.5. The flat file includes information on the social consequences (e.g., fatalities and injuries) and economic losses (e.g., direct and indirect costs, number of buildings destroyed or damaged). In this study, exposed population and GDP at the date of the earthquake complete the flat file information, estimated in relation to the ground motion footprint provided by USGS ShakeMap. In addition, earthquake consequences have increased since 1967 and follow a nonstationary Poisson distribution with rate proportional to exposure. We compute the annual rate of exceedance of human and direct economic losses relative to the exposed population and GDP per capita are derived showing that, although the number of casualties and the absolute magnitude of losses increase as consequence of urban concentration, global losses, relative to effective exposure corresponding to macro-seismic intensity of at least V , decrease.

Keywords: Seismic losses, exposed population, flat file, seismic risk, occurrence models

3.1 Introduction

In this era of global change, it is worth remembering that earthquakes correspond to 15% of natural hazards with consequences, but cause the greatest human (78%) and economic (45%) losses (EM-DAT, 2018). Compared with the return period of major earthquakes, the increase in exposed urban populations raises fears of increasing seismic disasters (Jackson 2006; Holzer and Savage 2013). In 2000-2010, approximately 699,000 people died as a direct or indirect consequence of earthquakes with magnitude greater

than 7.0; when compared with worldwide population growth statistics (Holzer and Savage 2013), these figures make this a decade of unprecedented losses. From 2011 to 2018, the earthquakes of Tohoku (Japan, M 9, 15,000 victims) and Nepal (2015, M 7.8, 8,000 victims) were among the most deadly events. Recent earthquakes are also among the most costly natural disasters, as a consequence (among others) of the concentration of exposed assets and increased insured property values: Kobe, 1995, \$329 billion; Sichuan, 2008, \$176 billion; Tohoku, 2012, \$411 billion.

Regardless of whether we are concerned with victims or economic losses, seismic source parameters (e.g., magnitude, distance to fault, depth) are not the only parameter to consider in predicting the likely consequences of an earthquake; it is also important to examine the economic exposure (i.e. wealth) and the population at risk (Jackson 2006; Bilham 2009; Bing 2011; Taylor 2013; Goda et al. 2015; McCaughey et al. 2018). Empirical loss prediction models are generally developed using data provided by global international databases or specific regional databases. Regression analysis can be performed on single or multiple parameters related to hazard, exposure and consequences (Christokov and Samardjieva 1984; Cha 1998; Wen and Kang 2001; Nichols and Beavers 2003; Jaiswal and Wald 2010; Heatwole and Rose 2013). For example, Jaiswal and Wald (2010) calculated a fatality rate expressed as a function of macroseismic intensity, i.e. a spatially varying parameter (unlike magnitude-based models) indicating the direct impact of ground motion on the built environment. More directly, economic and social losses are highly correlated with building damage (Coburn and Spence 2003). Ohta et al (1983) and Guettiche et al (2017) introduced damage as a hazard-related parameter, resulting in reduced uncertainties in prediction models. Finally, consequences also depend on exposure parameters such as the exposed population and regional or per capita GDP (Wyss and Trendafilosky 2011; Spence 2011; So and Spence 2013; Holzer and Savage 2013). Samardjieva and Badal (2002) and Jaiswal and Wald (2010) introduced the exposed population to model fatalities, and Dunbar et al (2003) and Heatwole and Rose (2013) proposed an economic loss model based on GDP per capita. Guettiche et al (2017) confirmed that these two key parameters improve the predictions by reducing uncertainties.

Hazard-, loss- and exposure-related parameters include significant epistemic and random uncertainties. For the oldest events, epistemic uncertainties might be due to the input data provided by international databases (Brookshire et al. 1997) or to the economic and demographic situation, which varies in space and time (Daniell et al. 2010). Allen et al (2009) built a very comprehensive database of seismic events, including the USGS ShakeMap footprints to provide the extent and population exposed, for events until 2006. This database was used by Jaiswal and Wald (2010) and Jaiswal and Wald (2011) to develop the USGS PAGER (Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response) regionalized empirical model for earthquake mortality and economic loss estimation. Holzer and Savage (2013) showed that the increase of frequency of human

earthquake disasters (with death tolls greater than 100,000) obeys to a nonstationary Poisson process as function of the rate of population growth.

However, due to the overall increase in population and the concentration of wealth and infrastructures in restricted urban areas (Huppert and Sparks 2006; Jackson 2006; Holzer and Savage 2013), even moderate events ($M < 6.5$) can make a significant contribution to the increase in overall economic losses, and cause a smaller, but still unacceptable, number of victims. Over the last ten years, remarkable earthquakes include L'Aquila (Italy, 2009, M 6.3, 309 victims, 0.1% GDP of economic losses), Christchurch (NZ, 2011, M 6.3, 168 victims, 10% GDP), Emilia-Romagna (Italy, 2012, M 6.1, 27 victims, 0.1% GDP), Lombok (Indonesia, sequence of earthquakes of magnitudes between 5.9 and 7, approximately 500 victims, 0.5% GDP). In addition, related to recent induced seismicity sequences, the impact of moderate magnitude earthquakes gains more and more interest (Nievas et al. 2020a). Due to the growth of regional population and wealth, the process is not at stationary increments and occurrence models must be selected accordingly or the increments must be transformed accordingly. To examine the contribution of the moderate magnitude earthquake (about magnitude 6 and even lower) to the annual rate of losses, we postulate that earthquakes with consequences can be represented by a stationary Poisson process in which their annual rate of exceedance is not proportional to the population growth. This prompts us to consider their occurrence as a stationary Poisson process, i.e. considering models that take into account local exposure variables (exposed population and regional GDP) and their variation in time. This information must be assessed according to the area affected by each earthquake and adjusted to the socio-economic situation of the exposed area at the time of the earthquake, in a tentative to render the process stationary.

The objective of this study is twofold: (1) to build a flat file of earthquakes with human and economic consequences for earthquakes ranging from moderate to strong earthquakes over the 1967-2018 period; (2) to estimate the annual rate of exceedance of losses scaled with the increase of population for prediction. This paper is organized as follows. In section 2, hazard-related variables from the ShakeMap catalogue (USGS 2018) and loss-related variables from the international reference databases are described and compiled to constitute the flat file. The exposure-related data (exposed population and GDP) is computed in section 3 to complete the information in the flat file used for defining occurrence models. Section 4 discusses the variation of the exposed population by intensity and year for a subset of earthquakes concerning regions with local demographic information provided by national census. The completeness of earthquake losses flat file is discussed first in section 5, then the annual rates of exceedance of economic and human losses ratios to exposed GDP and population are discussed in section 6. Finally, the conclusions of this study are presented.

3.2 Data related to hazard and consequences

The flat file was built by collecting global hazard- and consequences-related data, and to ensure the construction of a consistent and homogeneous database of events on which statistical analysis can be performed. In this study, two *sine qua non* criteria were considered to select events for inclusion (detailed separately in the following sections):

- (1) Earthquakes with reports available on economic or social losses;
- (2) Earthquakes with a spatial representation of their extent in the form of a ShakeMap or a macroseismic intensity map.

3.2.1 Consequence-related data

The information on socio-economic consequences was extracted from international databases that are authoritative in the field:

- The US National Oceanic and Atmospheric Administration database (NOAA 2018). This database contains information on the socio-economic consequences of more than 5,700 destructive earthquakes from 2150 BC to the present.
- The International Disaster Database on Emergency Events Database (EM-DAT) contains comprehensive data on the occurrence and effects of more than 18,000 natural disasters worldwide, from 1900 to the present (Guha-Sapir et al. 2016; EM-DAT 2018). Created in 1998, EM-DAT combines various sources of information, such as United Nations agencies, non-governmental organizations and reinsurance companies.
- The damaging earthquake database CATDAT (Daniell et al. 2010; CATDAT 2018). Created in 2010, this database contains more than 20,000 information sources providing data on the seismic losses of more than 12,000 historical earthquakes (Daniell 2011).
- The Inventory system of the effects of disasters (Desinventar) established by the United Nations for developing countries in Latin America and the Caribbean (Desinventar 2018). The Desinventar database compiles data from United Nations agencies and covers the period 1872 to 2018.
- The Earthquake Consequences Database from the Global Earthquake Model (GEM 2018). It contains data on earthquakes from 1923 to 2011.
- The Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR) database was established in 2006 by the World Bank for reducing vulnerability to natural hazards in developing countries (GFDRR 2018).

To compensate for missing data in our study, we consulted official documents from national or certified organizations that are authoritative in the field, and scientific articles. A total of 95 references were consulted, indicated in the flat file.

In this study, the parameters considered are number of fatalities F (438 events) and direct economic losses $L\$$ (364 events), named as economic losses in the manuscript. Information related to damage according to the European Macroseismic Scale EMS98 D2+D3 (385 events) and D4+D5 (379 events), as well as secondary loss information (among others, number of injured 376 events, number of homeless 123 events, number of missing persons 38 events, indirect economic losses 35 events and housing losses 23 events), is included in the flat file but will not be considered in this study. Earthquake losses are associated to the primary cause as a whole, i.e. without declustering the direct cause (i.e., due to the earthquake) to the indirect cause (e.g., induced landslides, tsunami or aftershocks), distinction rarely made in the international consequences database. Consequently, loss values can be highly scattered depending on whether indirect effects contribute to the total loss amount referenced in the international databases. Without further information, earthquake losses in the flat file include losses from secondary effects.

These international databases use redundant sources derived from technical or scientific reports. They do not provide criteria concerning the reliability and accuracy of the data, which are bound to vary considerably over time. Fig. 3.1. shows the percentage of events that have the same losses values, across all databases. The number of events with no variability in loss information increases over time. For example, for fatalities 52% of events have zero variability between 1970 and 2018, but this figure increases to 68% between 2009 and 2018. For economic losses over the past 10 years (from 2009 onwards) there has been a rapid improvement in consistency between the databases, which might be due to a general improvement in the information collected after earthquakes and growing interest in estimating losses leading to a systematic effort to collect information, to the fact that a consensus has been reached among database managers to consider a single source of information or to fill in this information by consulting other databases. Finally, the original data of the international databases (and their reference) are indicated in the flat file. For this study, we calculate the mean of the available information for economic losses and fatalities, without considering information indicating a rank of possible values, often provided as in NOAA.

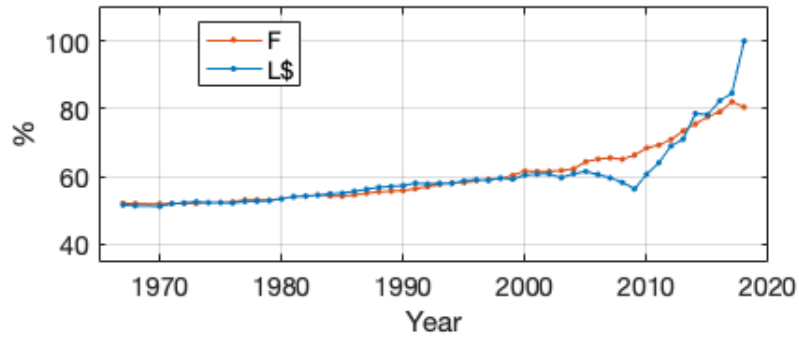


Figure 3.1. Evolution of the number of earthquakes (in %) for which the information on losses contained in the databases is identical, for human losses (*F*) and direct economic losses (*L*\$).

Economic loss values are adjusted to a reference year to ensure homogeneity (Daniell et al. 2010; Guettiche et al. 2017) using two types of index, qualified as leading economic indexes (INSEE 2019): the consumer price index (CPI) and the construction index (CI) for France by the National Institute of Statistics and Economic Studies (INSEE), and for the United States by the United States Census Bureau. These indices are available for 2016, considered in this study as the reference year for economic losses adjustment. These indices measure the relative change in the economic value of a region between the target period and the current period.

CPI is linked to a country's inflation. It measures the change in the overall level of prices for a given quantity of products (Caillaud 1998; Diewert 1998; Eurostat 2018). The American CPI is thus calculated in two different ways:

(1) in the manner of Laspeyres, which defines the price index by assuming the quantity and price reference year as the initial year of the period in question. This index tends to overestimate inflation.

(2) in the manner of Fisher, which is the geometric mean of the Laspeyres and Paasche economic indices, the latter being very similar to that of Laspeyres but considering the final year of the period as the reference.

The Paasche index tends to underestimate inflation. Ultimately, the choice between Laspeyres and Paasche depends on the availability of information. For example, Laspeyres is used to determine the CPI for France because it does not require information on the composition of the basket for the final year still in progress (Eurostat 2018). CPI enables representation of the evolution of the currency value between two periods.

CI measures the evolution of the construction cost of new buildings for main residential use (INSEE 2019). It considers only the costs of actual construction and not those related to the land. The percentage of variation in the CI is used as an index linked to inflation.

Finally, there are five economic indices whose evolution over time is very similar for the period considered (Fig. 3.2a). We computed the average economic index Ide (Fig. 3.2b) with 2016 as reference. Fig. 3.2b shows a first trend before 1967 with moderate growth of Ide , followed by strong growth after 1967. These two trends reflect what can be observed at the same time in terms of global economic growth. As of 1967, American and European policies became more oriented towards multilateral trade under the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT) (World Trade Organization 2019). In 1967, the United States entered a "New Industrial State" according to John Kenneth Galbraith (Galbraith 2007), leading to strong global economic growth in the late 1960s.

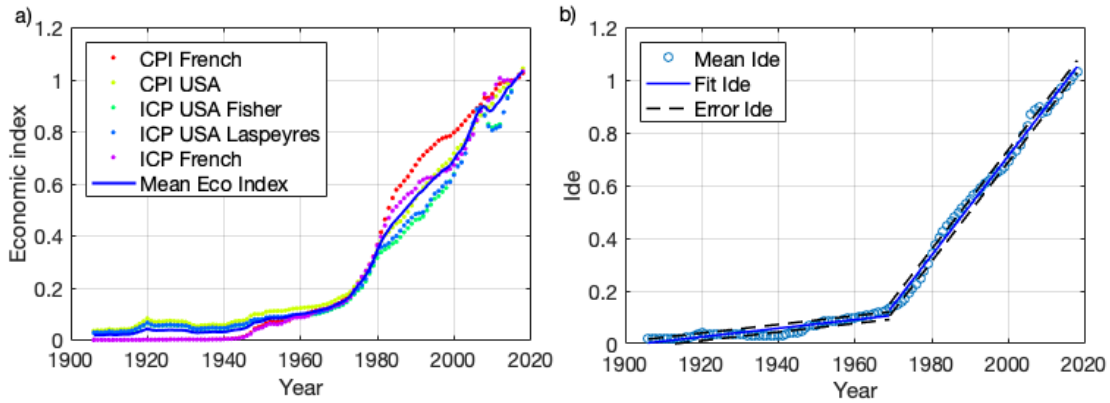


Figure 3.2. Evolution of economic indicators for the conversion of economic losses. (a) French and American economic indices of consumer prices (CPI) and construction index (CI). (b) Average economic index (Ide) for the adjustment of prices to the 2016 reference year.

The variation of Ide as a function of the year (Yr) is given by the following equations:

$$Ide = 1.6 * 10^{-3}Yr - 3.12 \pm 0.01 \quad \text{before 1967} \quad (3.1.)$$

$$Ide = 1.9 * 10^{-2}Yr - 37.03 \pm 0.02 \quad \text{after 1967}$$

Ide is then applied to the economic losses for adjustment to 2016, in US\$ ($L\$_{2016}$) according to the following equation:

$$L\$_{2016} = L\$_i * Ide_{2016}/Ide_i + \sigma \quad (3.2.)$$

where $L\$_i$ is economic losses in US\$ in year i of the earthquake, Ide_i is the conversion index in year i of the earthquake, Ide_{2016} is the conversion index in year 2016 and σ is

the associated error. For earthquakes in 2017 and 2018, Ide_i are not available. Thus, Ide_i are linearly extrapolated to these years using Eq. 3.1. (after 1967) and the adjustment to 2016 is calculated using Eq. 3.2.

3.2.2 Hazard-related data

Hazard is represented by the spatially distributed footprint of the earthquake's impact expressed in terms of ground motion intensity. The hazard-related data are from the ShakeMap Atlas (Allen et al., 2009) produced using the ShakeMap methodology (Wald et al., 1999), identified by date of occurrence, location (latitude, longitude, depth), geographical location and magnitude. ShakeMap footprints (Wald et al., 1999) are based on instrumental data and testimonies (*did you feel it?* tools), often concentrated in urban areas (Jay et al. 2012); they compensate for the lack of instrumental data on ground motion in low seismic hazard areas (Atkinson and Wald, 2007). For earthquakes for which there is little instrumentation or testimonies, the footprint is calculated from ground motion prediction equation (GMPE), including source parameters and site conditions derived from topographic slope proxy. The GMPEs are adjusted regionally, and then the ground motions are translated into macro-seismic Modified Mercalli Intensity (MMI) via ground motion-to-intensity conversion models (GMICE). ShakeMap provides a spatially distributed representation of ground motion used in many loss models (examples among others, Wald et al., 2008; Jaiswal and Wald, 2010) that reduces the variability of empirical loss prediction models (Guettiche et al., 2017). ShakeMap takes into account uncertainties related to ground motion predictions and source parameter conversion models (Wald et al. 2008), but these uncertainties, although collected, are not considered in our study.

Based on the work of Holzer and Savage (2013) that considers the increase in economic losses over the period 1967-2018, we decided to consider earthquakes from the same period (Fig. 3.3a). The Mw (USGS catalogue) magnitudes (Fig. 3.3c) are between 4.3 and 9.0, with an average value of 6.5. 95% of the earthquakes have a magnitude between 4.8 and 8.1 and 68% between 5.6 and 7.2. This means that most earthquakes with consequences were of moderate magnitude. Their contribution to overall losses will be analyzed in the following section. 50% of the events in the flat file have a hypocentral depth less than or equal to 17km (Fig. 3.3b), while knowing that this parameter is still uncertain. Between 2005 and 2018, the number of earthquakes corresponds to 55% of the whole number of earthquakes in the flat file. The high proportion of events over the last 13 years does not reflect an increase in the number of earthquakes, but rather the increase in access to the data related to hazard (shake-map) and associated losses more systematically reported over this period, or to more severe consequences due to concentrated exposure.

Fig. 3.4a shows the location of all the ShakeMap footprints in our file. A total of 445 events were selected: 59% are located in high seismic prone regions, 37% in moderate seismic prone regions and 4% in low seismic prone regions (areas defined by GFDRR 2019). 30% are deep earthquakes, defined for a depth of more than 25km including subduction (Astiz et al. 1988; Tichelaar et al. 1993) and continental deep earthquakes (Fig. 3.4c). The most represented countries (Fig. 3.4b) are Indonesia and China, followed by countries in Latin America (Mexico, Peru and Colombia) and Asia (Iran, India).

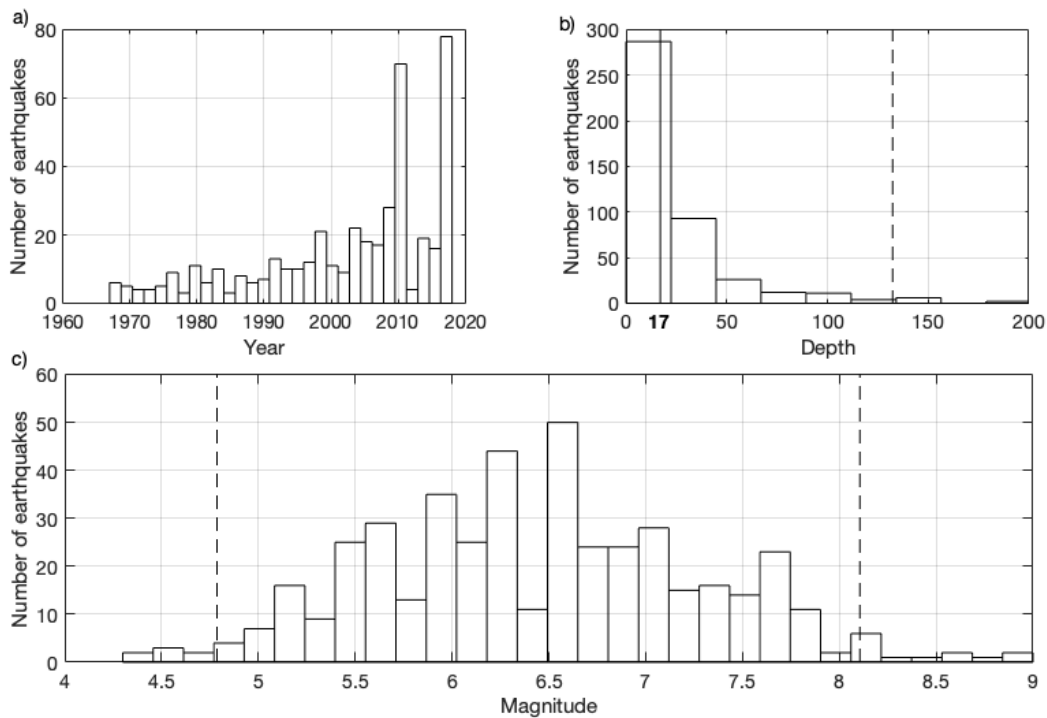


Figure 3.3. Distribution of the number of earthquakes contained in the flat file (a) per year, (b) per depth and (c) per magnitude. The vertical continuous line (b) represents the median depth of seismic events equal to 17km and the black dotted lines represent the 95% confidence interval.

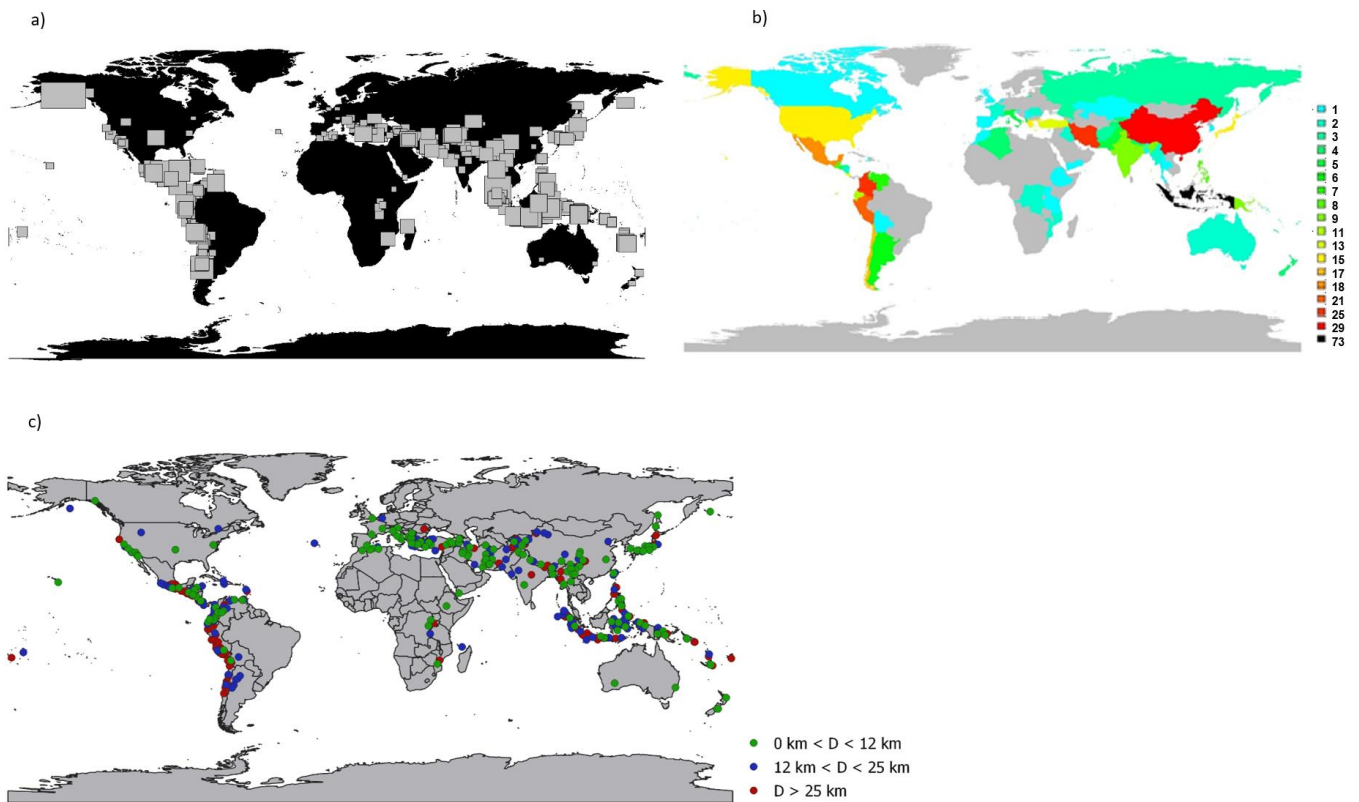


Figure 3.4. Distribution of earthquakes contained in the flat file. (a) Distribution of ShakeMap footprints by area. (b) Countries classified according to the number of earthquakes suffered (colorscale). (c) Distribution of earthquake with respect to depth.

3.3 Data related to exposure

Exposure-related data are calculated considering population and wealth. In this study, the ShakeMap footprint is used to evaluate the total exposure area A_{exp} for intensity V and above, and the exposed population Pop_{exp} and the economic value for the exposed area GDP_{exp} on the date of the earthquake.

3.3.1 Exposed population

The global exposed population varies with the world population in general, but also regionally (e.g. as a consequence of redistribution of the rural and urban population) with consequences on the amount of exposed population by macro-seismic intensity. In this study, the exposed population was calculated in three steps:

Step 1 - Population exposed in 2015 by country - $Pop_{exp_2015_c}$ Based on the ShakeMap footprints, each point j of the spatial grid covered by A_{exp} was assigned the population for the year 2015 (Pop_{2015_j}). Pop_{2015_j} was taken from the geographically distributed database of the European Commission (Eurostat 2019), with a resolution of 1km. At the date of this study, Eurostat (2019) provides population grids at a temporal resolution of 1975, 1990, 2000 and 2015 and the most recent was selected. A_{exp} can cover several countries. The total population of A_{exp} by country (index c) is given by the sum of the Pop_{2015_j} values, as follows:

$$Pop_{exp_2015_c} = \sum_{j=1}^N Pop_{2015_j} \in c \quad (3.3)$$

where N is the number of population indices $j \in [c, A_{exp}]$.

Step 2 - Conversion of the country's population to the year of the earthquake Pop_{y_c}/Pop_{2015_c} . The conversion factor between the country's population c in year y of the earthquake (Pop_{y_c}) and in 2015 (Pop_{2015_c}) is calculated from the country population table (index c) over a period between 1950-2015 provided by the United Nations (UN 2019). This table gives the total population of each country on July 1 of year y . The World Bank provides the total population per country for the years 2016-2018 (World Bank 2019), either directly derived from censuses conducted in the different geographical areas or estimated from these censuses.

Step 3 - Total population exposed in the year of the earthquake Pop_{exp_y} The population exposed in the year of the earthquake is expressed as the sum at each point $j \in A_{exp}$, according to the equation:

$$Pop_{exp_y} = \sum_{c=1}^M Pop_{exp_2015_c} * Pop_{y_c}/Pop_{2015_c} \quad (3.4)$$

considering M countries impacted by the earthquake.

3.3.2 Exposed GDP

In this study, *GDP* per capita is considered as economic-related parameter, which offers better statistical significance in loss models (Schumacher and Strobl 2011). *GDP* per capita is the value of *GDP* divided by the number of people in the country. This index is provided for each country for the years 1960 to 2018 by the World Bank in US\$ 2010 (World Bank 2019). Considering at the first order an evenly distributed *GDP* within one country, the calculation of the *GDP* of the exposed area in US\$ 2010 is given by the following equation:

$$GDP_{exp_y} = \sum_{c=1}^M GDP_{capita_y_c} * Pop_{exp_y_c} \quad (3.5.)$$

where GDP_{exp_y} is the GDP exposed in year y of the earthquake and $GDP_{capita_y_c}$ is the GDP per capita in year y of the earthquake of the country concerned c . GDP_{exp_y} is then adjusted to the US\$ 2016 currency using the *Ide* economic conversion index (Eq. 3.1. and 3.2.).

Table 3.1. summarizes the statistical indicators associated with the economic losses in our flat file. Total losses adjusted to 2016 correspond to \$1.109 billion, with an average loss of around \$3 billion. However, the skewness coefficient shows a positive value, which means that loss information is collected more frequently for the largest earthquakes than for the smaller events, also suspected in Nichols and Beaver (2008). The kurtosis also gives an idea of the dispersion of extreme values in reference to the normal law. The kurtosis is high, indicating that the distribution has heavier tails than in a Gaussian distribution, and that there are lots of values far from the mean. This means that the strongest and rarest earthquakes contribute significantly to both economic and social losses, even though the vast majority of cumulative losses corresponds to earthquakes of intermediate magnitude (around 6: high probability/low consequences earthquakes). In total, the earthquakes in our flat file representing 95% and 68% of magnitudes ([4.8;8.1] and [5.6;7.2] respectively) contribute respectively to 71% and 46% of total economic losses and 99% and 39% of total social losses. It is interesting to note that the high magnitude earthquakes ($M > 8.1$), i.e. Low Probability-High Consequence events, contribute to only 30% of total economic losses and 2% of total social losses over this period. Although these events individually produce enormous consequences with major economic and social repercussions for the affected area, they contribute only modestly to total overall losses for the period considered.

Table 3.1. Economic losses L\$ (in US\$) and deaths F from the flat file.

	F	L\$
Total value	929,387	1.109E+12
Mean	2,122	3,045,815,967
St. Dev.	16,999.6	1.8185e+10
Skewness	12.6	11.3
Kurtosis	169	146.2

3.4 Tests on the variation of Pop_{exp} by intensity and year

The number of earthquakes per year (or the annual exceedance rate) can be considered as a stationary process, in which a stationary incremental Poisson model represents their annual probability of occurrence (and the associated ground motion). In a stationary Poisson process, the number of events (i.e. losses in our case) that will occur over a time interval is the same over a translated time interval. Conversely, the value of human and economic losses (both as a function of population) obeys a nonstationary distribution with rate proportional to population. Without more information, an often-used approximation assumes that (1) compared to the world population, the proportion of population in seismic prone regions is approximately constant; and (2) population growth are uniformly distributed within a country, which is questionable, particularly when considering both urban and rural areas.

3.4.1 Exposed population for a sub-set of earthquakes

With the objective of making the exposure values stationary in time, we tested the evolution of the exposed population by compiling the aggregate population for a sub-set of earthquakes concerning regions with local demographic information. Earthquakes respecting the following criteria are considered:

- Events in countries for which geolocalized demographic data by municipality are available since 1968 and provided by the national statistical agencies (i.e., France, INSEE 2019; Italy, Istat 2019; Belgium, StatBel 2019).
- Events representative of the Western Europe, i.e. earthquakes in France, Italy and Belgium, characteristic of the stable continental region and active continental region, with magnitudes ranging from 4.9 to 7, i.e. the magnitudes representing 65% of the events in our flat file (Fig. 3.2.).
- Earthquakes for which a Shakemap and/or a macro-seismic intensity map is available.

The seismic characteristics of the selected events are described in Table 3.2.

Table 3.2. Description of the events selected to test the variation of the exposed population.

Seismic events	Year	Magnitude	Depth	Shakemap (A) / Macro seismic intensity map (B)
Belgium				
Liège	1983	4.9	4	A
France				
Arette	1967	5.1	10	B
Arudy	1980	5.1	10	A+B
Vendée	2001	5.1	12	A+B
Rambervilliers	2003	5.3	9.4	A+B
Italy				
Frioul	1975	5.2	16	A+B
	1976	6.4	11	A+B
	1977	5.4	25	A+B
	1979	5.8	15	A+B
	1983	5.5	10	A
	1983	5	38.3	A+B
	1984	5.5	10.9	A+B
	1987	5.1	18.6	A+B
Basilicate	1990	5.8	9	A+B
Sicily	1990	5.8	12.1	A+B
	1991	5.3	8.1	A+B
Ombine	1997	6	6	A+B
	1998	5.4	10	A+B
	2000	4.9	10	A+B
Molize	2002	5.7	10	A+B
Laqo Gardo	2004	5	17	A+B
L'Aquila	2009	6.3	8.8	A+B
Cosenza	2012	5.3	6	A+B
Emile-Romaqne	2012	5.8	8	A+B
Amatrice	2016	6.2	4	A+B
Abruzzes	2017	5.6	10	A+B

Depth of the earthquakes is a key parameter for macroseismic intensities patterns (Grandori et al. 1991; Levret et al. 1994). We defined two categories of earthquakes listed in Table 3.1., greater than or equal to (8 earthquakes), or strictly less than (18 earthquakes) the mean depth (12km). This depth threshold is also consistent with the flat file data, since 95% and 68% of the flat file earthquakes correspond to a median depth of 17km and 14km, respectively. Uncertainties related to depth may impact the final results but without more information on this parameter, we consider the depth value provided by the catalogues.

For each earthquake in Table 3.2., the total geographical areas A_{exp} exposed to macroseismic intensities $\geq V$ (intensity of first damage according to EMS98) and to each intensity value A_{exp_i} (ranging from V to IX) are estimated with the iso-intensity curves. Considering the year 1968 for all earthquakes, the variation of the exposed population by intensity since 1968 is given by summing the geolocated population data within each iso-intensity area. Fig. 3.5. shows the population exposed to each intensity Pop_i since 1968, compared with the total exposed population Pop_{exp} (i.e., exposed to

intensities $\geq V$), for all earthquakes. By merging all earthquakes information on the same plot, extreme values (gray zone, Fig. 3.5.) vary between intensities as consequences of the between event variation of the earthquakes features (among other, source mechanism, depth or wave propagation). Those features impact the pattern of the iso-intensity curves, mainly for the smallest macroseismic intensity covering the widest area. Nevertheless, extreme values remind stable over time, even if the total regional population may change. In addition, the mean Pop_I/Pop_{exp} ratio is stable over time, regardless of intensity (coefficient of variation less than 2%), and standard deviation values of the Pop_I/Pop_{exp} ratio is small (coefficient of variation ranging from 1.62% to 2.05%). This means that the exposed population is always evenly distributed within each macroseismic intensity range, with respect to the total exposed population (for $I \geq V$), varying by less than 2% between 1968 and 2018. Thus, considering the ratio of human or economic losses to exposed population or exposed GDP per capita rends the process at stationary increments, that will be considered for representing occurrence (or exceedance) rate of losses in the last session.

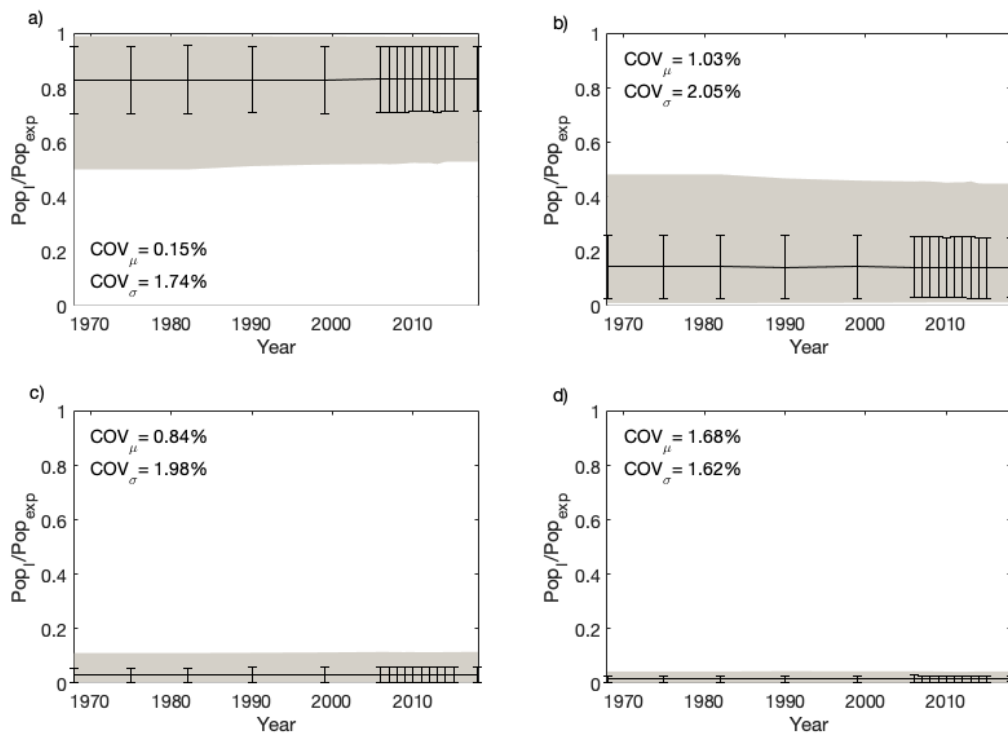


Figure 3.5. Variation in the Pop_I/Pop_{exp} ratio between 1968 and 2018 for the earthquakes in Table 3.2. and for intensities VI (a), VII (b), VIII (c) and IX (d). The shaded area corresponds to the envelope of extreme values for all earthquakes. The solid black line represents the average value (with $\pm\sigma$) for each year. COV =coefficient of variation of the mean μ and standard deviation σ over the period considered.

3.4.2 Prediction of the A_{exp} and Pop_{exp} for a given Magnitude/Depth pair

For the earthquakes in Table 3.2., the total exposed population and associated wealth are then directly determined by the geographical area exposed A_{exp} to intensity $\geq V$. A regression-based empirical model is defined according to the following functional form:

$$Y = a \cdot \exp(b \cdot I) + \sigma \quad (3.6.)$$

where a and b are the regression coefficients, σ is the mean square error (RMSE), I is intensity and Y corresponds to Pop_I/Pop_{exp} or A_{exp} derived from

Fig. 3.6. shows the distribution of A_{exp} , respectively, for earthquakes (a) with a hypocentral depth of less than 12km (i.e., the depth of 65% of the earthquakes included in the flat file) or (b) regardless of earthquake depth in Table 3.2. There is a higher dispersion of results for low intensities, due to the greater spatial variability of ground motion over long epicentral distances. A finer distinction of magnitude/depth pairs would allow this model to be refined, but this would require more data. Furthermore, the small amount of data for the highest intensities affects the extreme values of the models. For the purpose of this study, however, it can be considered that, at the first order, it is possible to estimate the exposed area as a function of intensity for the magnitude and depth ranges of the earthquakes selected for this evaluation (Table 3.2).

Similarly, assuming constant distribution of the Pop_I/Pop_{exp} ratio over time, the exposed population can be estimated as a function of intensity, regardless of global population growth fluctuations (Fig. 3.7.).

The coefficients a , b and σ of Eq. 3.6. are given in Table 3.3.

Table 3.3. Coefficients of the prediction model (Eq. 3.6.) for exposed area and exposed population.

		A_{exp}	Pop_I/Pop_{exp}
D<12km	a	$7.33 \cdot 10^7$	7,707
	b	-1.65	-1.82
	σ	14,961 km ²	9%
D>12km	a	$5.35 \cdot 10^7$	2,254
	b	-1.62	-1.58
	σ	13,751 km ²	13%

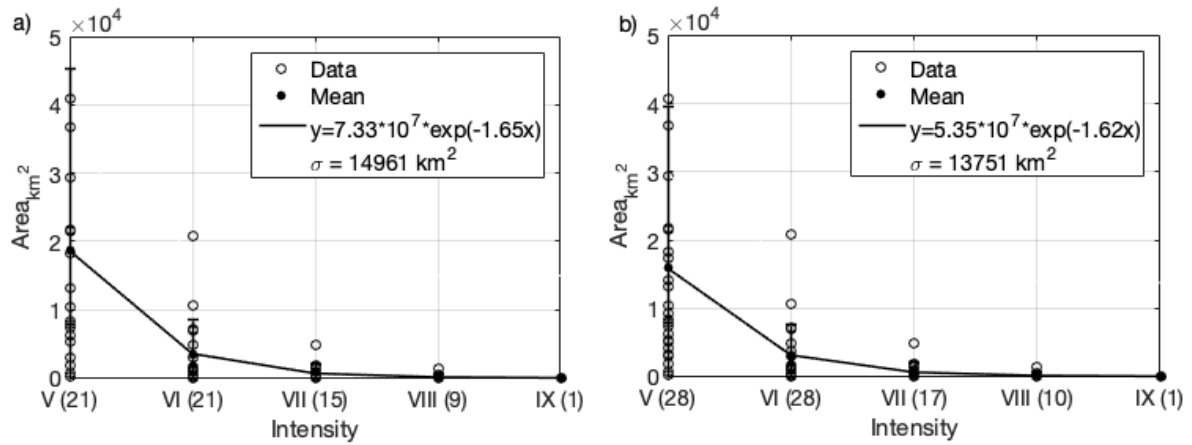


Figure 3.6. Exposed area A_{exp} for each macroseismic intensity of the earthquakes analyzed (Table 3.2.). (a) Depth $<12\text{km}$. (b) Any depth. The number in brackets indicates the number of samples. The solid line corresponds to the model fitted to the data according to Eq. 3.6.

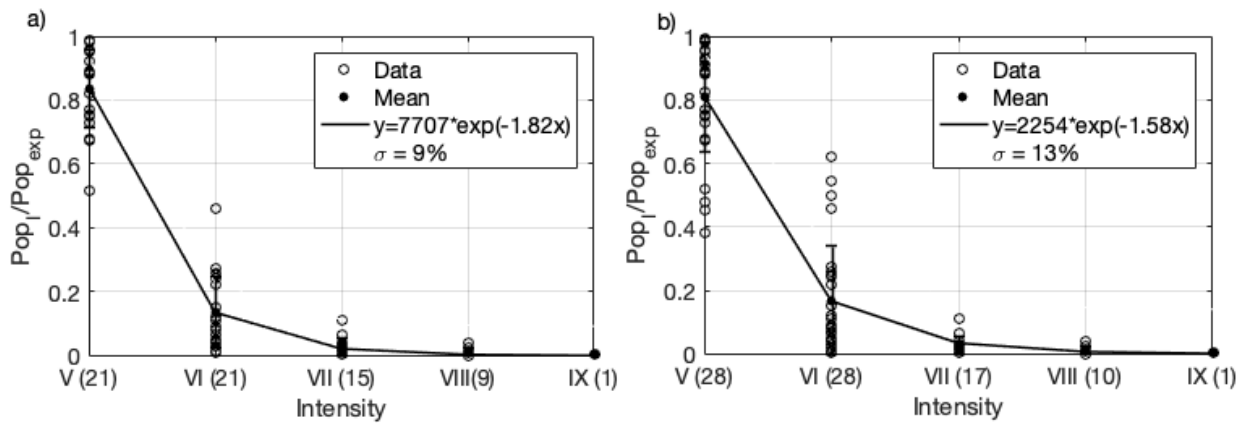


Figure 3.7. Exposed population relative to the total exposed population Pop_i/Pop_{exp} for each macroseismic intensity of the earthquakes analysed (Table 3.2.). (a) Depth $<12\text{km}$. (b) Any depth. The number in brackets indicates the number of samples. The solid line corresponds to the model fitted to the data according to Eq. 3.6.

3.5 Discussion on the catalogue completeness

A key question for deriving an occurrence model is the completeness of the catalogue used, i.e. whether all the events that produced consequences are included in the analysis, in particular for the smallest magnitude earthquakes with consequences for which documentation may be sparse and assessment subjective. Nichols and Beaver (2008) compared the 20th century and the full portion of the NOAA catalogue and observed an increase of the death toll per earthquake for the 20th century. They speculated that the cause of this increase was caused by an increase in the number of fatal earthquakes or a lack of reporting consequences for small magnitude earthquakes in the older part of the catalogue. Based on their analysis, Holzer and Savage (2013) confirmed the second option, suggesting in our flat file a lack of moderate-to-weak earthquakes reports. They also reported that the cumulative fatalities associated with the background rate of earthquakes, i.e. excluding the largest magnitude events, increase with time as a consequence of the more systematically reporting with time of consequences for smallest earthquakes.

We therefore compared the completeness of the flat file against the ISC-GEM earthquake catalogue produced by the International Seismological Centre (ISC) (GEM 2019; ISC 2019). The ISC-GEM database lists 35,712 global seismic events between 1904 and 2015. To fit the period covered by our consequences database, only the earthquakes between 1967 and 2015 were retained firsts, i.e. 24,748 events over the last 48 years (named ISC1 database), representing 69% of the events in the ISC-GEM catalogue. The ISC-GEM database does not include earthquakes after 2015.

We assumed that earthquakes only cause losses if a population (and therefore wealth) is exposed. For the 24,748 earthquakes of ISC1, we calculated the population exposed to intensities $\geq V$, according to the procedure below.

Step 1 - Determinated maximal intensity - I_{max} - From the flat file, we determined intensity attenuation relationship as a function of depth and magnitude, called the Intensity Prediction Equation (IPE), to obtain the epicentral intensity. This step is required to discard earthquakes with $I_{max} < V$ and to estimate exposed areas (and associated exposure values) using Eq. 3.6. and Table 3.3. with the remaining earthquakes. Depth was provided by the USGS Shakemap. The functional form of the IPE relationship used in this study is as follows (Bakun and Scotti 2006; Stromeyer and Grünthal 2009):

$$I_{max} = a + bM + c * \log(h) \quad (3.7.)$$

where a , b and c are the regression coefficients, h is the hypocentral depth, M is magnitude and I_{max} is epicentral intensity. Five relationships were derived from the

seismic events in the flat file database (Table 3.4.) as a function of magnitude. σ represents the standard deviation of the residues.

Table 3.4. Parameters of the IPE intensity attenuation relationships.

Number of events	M	a	b	c	σ
53	4.3≤M<5.5	2.97	0.77	-1.50	0.88
172	5.5≤M<6.5	-0.37	1.63	-2.38	0.81
157	6.5≤M<7.5	2.06	1.21	-2.04	0.77
58	7.5≤M<8.5	9.67	0.15	-1.85	0.88
5	8.5≤M<9.5	36.41	-2.70	-2.52	0.21

Step 2 - Exposed Area by intensity - Using the exposed area prediction model (Eq. 3.6.), the exposed area by intensity between [V; IX] and the total exposed area were calculated for each earthquake, considering shallow earthquakes and all earthquakes.

Step 3 - Exposed Radius by intensity – R_{exp} - Based on the exposed areas, a circular area equivalent to the exposed area by intensity and total, was defined to retrieve population cells from the population grid.

Step 4 - Total exposed population in the year of the earthquake Pop_{exp_y} - calculated by Eq. 3.4.

Finally, in the ISC1 database, 1,649 earthquakes generated $I_{max} < V$ (7%) and 11,727 seismic events (47%) with $I_{max} \geq V$ do not affect any populated areas. Finally, the reduced ISC2 database of events with population exposed to $I_{max} \geq V$ corresponds then to 11,372 earthquakes (46%) over the period 1967-2015. Since it is assumed that the ISC-GEM catalogue for $M > 5.5$ (Giacomo et al. 2018) is complete, the ISC1 and ISC2 catalogues are also complete.

From ISC1 and ISC2, exceedance models were calculated according to a functional form derived from the model proposed by Gutenberg-Richter (1949). The Gutenberg-Richter model uses the cumulative magnitude-frequency distribution. This distribution represents the number of earthquakes with a magnitude greater than or equal to a given magnitude, as follows:

$$\log N(m > M) = a - b * M \quad (3.8.)$$

where $N(m > M)$ is the number of earthquakes per unit of time with a magnitude m greater than a given magnitude M , a and b are the regression coefficients, a represents the seismicity rate and b the ratio between large and small earthquakes.

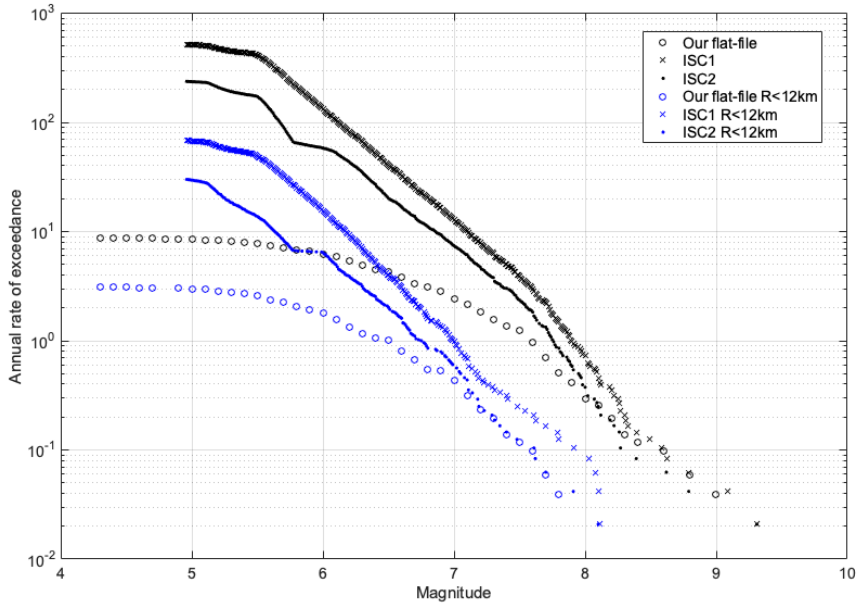


Figure 3.8. Annual rate of the number of earthquakes with magnitude $>M$ on the data sets considered.

The exceedance models Eq. 3.8. applied to the ISC1 and ISC2 databases and our flat file, represented in Fig. 3.8., are given by equations 3.9.-3.11., below:

$$\log N(m > M)_{ISC1} = 9.9 - 1.0 * M \quad (3.9.)$$

$$\log N(m > M)_{flat-file} = 5.1 - 0.7 * M \quad (3.10.)$$

$$\log N(m > M)_{ISC2} = 9.2 - 0.9 * M \quad (3.11.)$$

The a value is higher for the ISC1 database which contains the most earthquakes (all earthquakes with $M > 4$, over 1967-2015 period). The b value indicates the relative ratio between small and large earthquakes. As expected, the values are close to 1 (Baker 2008) for ISC1 and ISC2, i.e. weak-to-moderate earthquakes are complete in the database for the selection criteria. This is not the case for the model deduced from the flat file: $b < 1$ and small a value suggest a lack of earthquakes in the flat file compared to ISC1 or ISC2 databases that could have generated losses following the previously defined criteria (i.e., $I_{max} \geq V$ and exposed population). That suggests a lack of earthquakes with losses reported in the international database (e.g., Nichols and Beaver, 2008; Holzer and Savage, 2013) or/and of earthquake with shake-map, especially for the low magnitude earthquakes. Other databases for small-to-medium earthquakes (e.g., Nievas et al., 2020b) have clearly identified damaging earthquakes

with small to medium magnitude, but these magnitude does not cover the magnitude range of the flat file and then are not incorporated in this study.

Fig. 3.8. shows the annual rate of exceedance for ISC1, ICS2 databases and the flat file of earthquakes of any depth (in black) and shallow earthquakes (in blue). The curves overlap for magnitudes greater than around 7.6. According to Fig. 3.3c, the most representative earthquakes in our file have a magnitude of between 4.8 and 8.1. Earthquakes with a magnitude between 5.6 and 7.3 correspond to 68% of the database's seismic events, which suggests a lack of completeness in the flat file.

Earthquakes with a hypocentral depth of less than 12 km for magnitudes between 4.8 and 8.1 (36% of flat file events) represent 48% of total economic losses and 28% of total human losses. Earthquakes with a depth of less than 17 km for the same magnitude range (52% of the flat file events) make a more significant contribution, representing 64% of total economic losses and 81% of total human losses. It is therefore the most shallow earthquakes that produce the greatest cumulative losses. Finally, for magnitude around 6, the flat file does not consider all the events likely to cause damage. Some earthquakes might not have produced consequences, or perhaps did not meet the selection criteria used to determine the consequences (with an available Shakemap and information on the consequences), particularly for events with a shorter return period, i.e. moderate magnitude earthquakes, as also suggested by Nichols and Beaver (2008) and Holzer and Savage (2013).

3.6 Discussion on annual rate of exceedance of L\$ and F

Based on the flat file data, an occurrence model was derived to predict the minimum consequences. Two forms of occurrence models were tested on the 445 seismic events between 1967 and 2018 in the flat file, according to two functional forms proposed by Anderson and Luco (1983) and Mazzotti et al (2011):

$$\log N(Y > X) = a - b * \log(X) \quad (3.12.)$$

$$\log N(Y > X) = 10^{a-b*\log(X)} - 10^{a-b*\log(X_{max})} \quad (3.13.)$$

where $N(Y > X)$ represents the number Y of earthquakes with a ratio of social losses to exposed population (F/Pop_{exp}) or of economic loss to exposed GDP ($L\$/GDP_{exp}$) greater than or equal to a given ratio X , expressed as the annual number Y of earthquakes on Fig. 3.9. In Eq. 3.13., we assume X_{max} equal to 1 for population, so the number of victims F cannot exceed the exposed population Pop_{exp} , and equal to 10^3 for

economic losses so that the losses $L\$$ can exceed GDP_{exp} defined as the maximal value in the flat file.

The two models (Eq. 3.12. and 3.13.) fitted to the data are shown in Fig. 3.9. for $L\$/GDP_{exp}$ and F/Pop_{exp} and parameters given in Table 3.5. The two models are quite similar, with similar a and b coefficients: $a = 9.0 \cdot 10^{-3}$ and $b = 5.7 \cdot 10^{-2}$ for social losses and $a = 1.7 \cdot 10^{-2}$ and $b = 1.1 \cdot 10^{-2}$ for economic losses. Models give an annual exceedance of $3.6 \cdot 10^{-2}$ for $L\$/GDP_{exp}$, and 10^{-4} for F/Pop_{exp} . Residue distributions for both models and social or economic losses follow a normal distribution, with values $\mu=0.22$; $\sigma=0.29$ (Eq. 3.12.) and $\mu=0.32$; $\sigma=0.21$ (Eq. 3.13.) for F/Pop_{exp} and $\mu=0.06$; $\sigma=0.05$ for $L\$/GDP_{exp}$, whichever model is considered (Eq. 3.12. and 3.13.). Economic losses are less dispersed, that is interpreted with difficulties. However, Figure 3.1. shows that differences between reported loss values in international databases reduce faster after 2010, as if the databases were primarily made for economic losses, carried out by and for the actors concerned by economic losses: a speculative conclusion might be that more effort and care is devoted to economic loss reporting.

There is also a break in the data at $F/Pop_{exp} = 3.0 \cdot 10^{-3}$, and the fitted models overestimate the observed rates. This may suggest that the models are wrong in this range : there might be a lack of data to constrain them better or a rough number of reported fatalities. This is not the case for economic losses that may confirm a better degree of confidence for this parameter.

Table 3.5. Coefficients of the exceedance models.

Exceedance model	L\$/GDP _{exp}				F/Pop _{exp}			
	a	b	μ	σ	a	b	μ	σ
Eq. 3.12.	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	0.0	0.0	$9.9 \cdot 10^{-3}$	$5.7 \cdot 10^{-3}$	0.2	0.2
Eq. 3.13.	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$	0.0	0.0	$9.9 \cdot 10^{-3}$	$5.7 \cdot 10^{-3}$	0.3	0.2

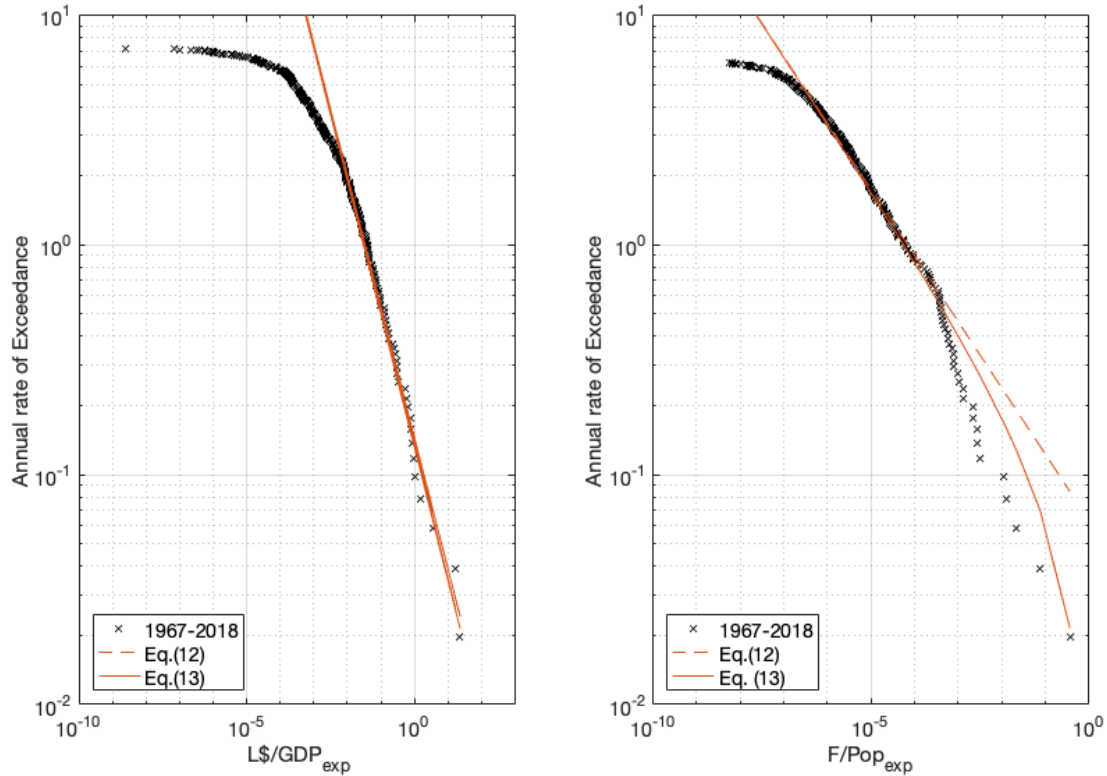


Figure 3.9. Representation of the annual rate of exceedance of losses. (a) Economic losses according to exposure ($L\$/GDP_{exp}$). (b) Fatalities according to exposure (F/Pop_{exp}).

Fig. 3.10a represents the cumulative fatalities and the cumulative ratio F/Pop_{exp} over the period 1967-2018. One characteristic of the $L\mathcal{S}$ time histories is that earthquakes with large death tolls are superimposed on a smooth background trend, in relation with the growth of the global population (Holzer and Savage, 2013). Earthquakes with large death tolls are clearly showed on the cumulative total fatalities (Fig. 3.10a). Actually, the two major jumps correspond to the earthquakes that contributed the most to human losses over the considered period: the Tangshan (China, $M=8.2$) and Guatemala ($M=7.5$) earthquakes in 1976 with more than 250,000 victims in total, and the Haiti earthquake ($M=7.2$) in 2010 with more than 200,000 victims (estimates range between 45,000 and 316,000) (Fig. 3.10a).

Similarly, Fig 3.10b shows the evolution of cumulative economic losses $L\mathcal{S}$ and the cumulative ratio $L\mathcal{S}/GDP_{exp2016}$ over the period 1967-2018. As for human losses, the ratio of cumulative $L\mathcal{S}$ increases between 1967 and 2018, with significant earthquakes superimposed to a smooth background trend with relatively constant rate. The major earthquakes that produced economic losses are clearly showed in Fig. 3.10b: in 1976 (Tangshan earthquake China $M=7.6$), 1980 (Irpinia earthquake Italy $M=6.9$), 1994 (Northridge USA earthquake $M=6.7$), 1995 (Kobe earthquake, Japan $M=7.2$), 2008

(Sichuan earthquake China M=8) and 2010-2011 (including New-Zealand earthquakes sequences with M ranging from 5.3 to 7, Chile 2010 earthquake M 8.8 and Tohoku earthquake Japan M=9.1). These five earthquakes sequences represent 52% of all economic losses over the considered period.

Over the same period, the F/Pop_{exp} and $L\$/GDP_{exp2016}$ have decreased (Fig. 3.10.), from 1975 onwards for F/Pop_{exp} , and from 1995 onwards for $L\$/GDP_{exp2016}$. This trend could be explained by the overall improvement of seismic constructions. With more widespread implementation of the seismic rules introduced in the 1980s (Laub 1997; Gülkan and Reitherman. 2014), the direct economic and human losses associated to damage that represents a large portion of the total losses in the flat file, decrease in proportion to the exposure. Mitigation programs (i.e., the 1999 International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), the 2005 Hyogo (HFA) and 2015 Sendai (Spence 2004; UNDRR 2007, 2015)) might also have helped to reduce social and economic losses as a proportion of the exposed population and GDP per capita. These strategies, which focus on understanding hazards, risk management and governance, seismic reinforcement and anticipation/preparedness, are globally beneficial, and their benefits have been widely recognized since their inception (Laub 1997; Benson and Twigg 2004; Whitehead and Rose 2009; Shreve and Kelman 2014).

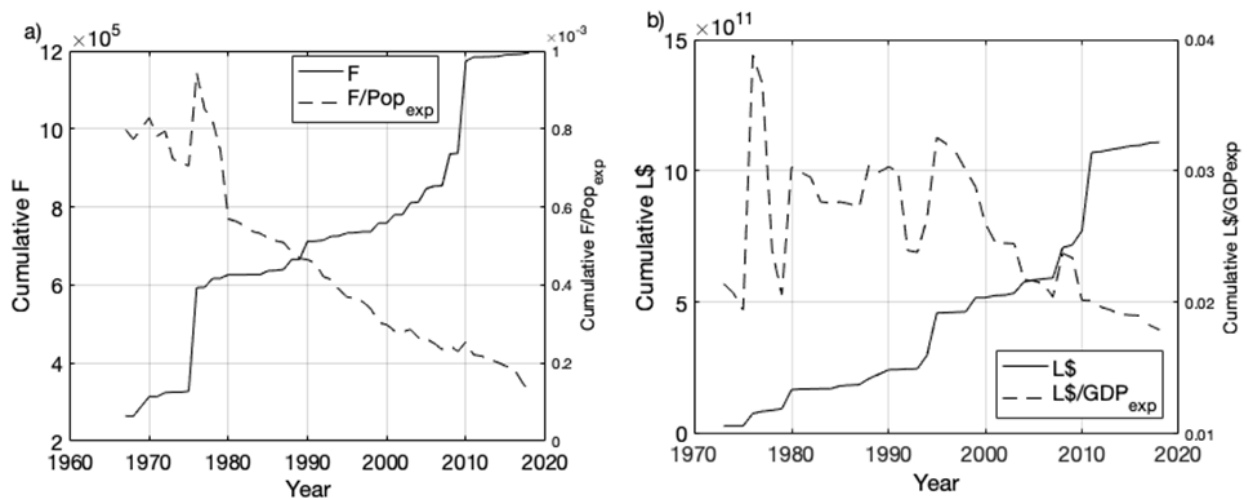


Figure 3.10. Temporal evolution of cumulative social (a) (F and F/Pop_{exp}) and (b) economic ($L\%$ and $L\$/GDP_{exp}$) losses for the flat file earthquakes from 1967 to 2018.

3.7 Conclusions

A total of 445 seismic events were collected to analysis the occurrence of economic and social losses due to earthquakes. We decided to consider losses in relation to the exposed *GDP* and population. A first result of this study shows that the evolution of the exposed population by intensity is stable over a 50-year period for earthquakes from magnitude about 6 in moderate to strong seismic prone regions. This result, which has yet to be confirmed for other events, is important to enable assessment of the population exposed at the time of the earthquake for historical earthquakes and to consider a stationary incremental Poisson model for the prediction of losses with respect to the total exposed population and consequently GDP per capita.

Shallow earthquakes with magnitudes between 4.8 and 8.1 (52% of the flat file events) contribute significantly to the global earthquake losses, representing 64% of total economic losses and 81% of total human losses. Actually, the under-reporting of smaller events in the older period covered by the flat-file (and more generally in the international catalogue) prompt us to consider a largest contribution of such earthquakes to the cumulative losses.

Global earthquakes losses appear to be controlled by two general trends: (1) a general increase of cumulative losses superimposing a steady background apparently independent of the population growth and the largest earthquake losses increasing in number in time (Holzer and Savage, 2013), (2) a decrease in global losses versus the exposure over the 1967-2015 period (i.e., F/Pop_{exp} and $L\$/GDP_{exp}$). We suspect a beneficial effect of international programs to reduce and mitigate natural risks. In the flat file, losses are considered by event, merging the primary and secondary causes of losses. However, since direct losses are often mainly associated with damage, seismically compliant design programs are likely to contribute to these trends.

Finally, models of the exceedance of economic and social losses could be produced, allowing a first estimate of the minimum probability of death in relation to the exposed population, and economic losses in relation to the exposed *GDP*. These models are only valid for a complete event catalogue that requires a more systematic reporting of losses for moderate earthquakes. To overcome the lack of moderate earthquakes losses, a synthetic database of losses induced by weak-to-strong earthquakes will be developed in further studies.

4 Base de données synthétiques des pertes sismiques mondiales et modèle d'occurrence empirique

Une démarche probabiliste de prédiction des pertes sismiques s'appuie sur des modèles d'occurrence permettant de calculer la probabilité de dépassement d'une perte sur une période de temps à venir. Ces modèles sont construits à l'aide d'un catalogue de séismes le plus complet et homogène possible, ce qui n'est a priori pas le cas, en particulier pour les événements les plus anciens et de plus faible magnitude. Une base de données synthétiques des pertes sismiques est ainsi développée contribuant à améliorer la modélisation du risque sismique. A partir du catalogue des séismes ISC-GEM, supposé complet et homogène depuis 1967 pour un rang de magnitude comprise entre 5 et 8, les pertes sont évaluées suivant une démarche allant de la conversion des magnitudes en intensités épacentrales jusqu'à la prédiction des pertes. A chaque étape, des modèles de prédiction sont établis et testés par la méthode de ressemblance sur des données issues de 377 événements sismiques pour lesquels les variables relatives à l'exposition (population exposée et GDP exposé) et aux conséquences (pertes économiques, nombre de morts et de blessés) ont été évaluées. Ces évaluations s'appuient respectivement sur l'aire exposée déduite des empreintes ShakeMap de l'USGS et des données de pertes contenues dans les bases de données internationales. Grâce à ce catalogue synthétique, les événements de magnitude intermédiaire (autour de 6) permettent une évaluation des taux d'occurrence des pertes et nous donnent la possibilité de faire des projections sur les années à venir.

4.1 Introduction

Les grandes catastrophes sismiques génèrent des pertes économiques $> 1\%$ GDP et elles sont généralement associées aux séismes les plus importants (en général $M > 7$, Holzer and Savage, 2013). Cependant, avec la concentration des populations et des économies dans des centres urbains de plus en plus denses, même des séismes modérés (magnitude autour de 6) peuvent provoquer des pertes économiques directes et indirectes significatives et des victimes en nombre certes plus faibles mais néanmoins intolérables (par exemple, L'Aquila (Italie), 2009, M 6.3, 309 victimes, 0.1%GDP ; Christchurch (NZ), 2011, M 6.3, 168 victimes, 10% GDP ; d'Emile-Romagne (Italie), 2012, M6.1, 27 victimes, 0.1% GDP). Globalement, ces séismes modérés contribuent de façon significative aux pertes sociales et économiques cumulées sur les 50 dernières années (Dollet and Guéguen, 2020) et des magnitudes correspondant à des séismes de magnitudes faibles à modérées contribuent aux pertes globales (Nievas et al., 2020a ; 2020b).

Les modèles d'occurrence des pertes sismiques s'appuient sur trois données essentielles : les données relatives à l'aléa, à l'exposition et aux conséquences. Comme la prédiction exacte est impossible en raison des incertitudes aléatoires (variabilité naturelle) et épistémiques (la limite de nos connaissances), les prédictions s'expriment en termes de probabilités d'occurrence. Ce qui s'est passé dans le passé est naturellement une information clé pour modéliser ce qui pourrait se passer dans le futur. Pour cela, la complétude et l'homogénéité des données des catalogues est nécessaire si l'on souhaite une prédiction pertinente, pour les données relatives à l'aléa et celles relatives aux conséquences. Il faut pour cela disposer d'un catalogue des séismes ayant provoqué des pertes, couvrant la fenêtre temporelle la plus longue possible et descendant à la plus petite magnitude possible.

Concernant les données relatives à l'aléa sismique, le catalogue ISC-GEM (2019) est supposé complet pour les séismes mondiaux de magnitude entre $[5 ; 8$ [sur la période 1967-2016 (Di Giacomo et al., 2018). Ils sont définis en fonction de leur localisation et de leur magnitude, alors que l'intensité macrosismique permet de faire le lien direct entre le mouvement du sol et les conséquences. En effet, de nombreux modèles empiriques ont été dérivés à l'échelle mondiale ou régionale, en effectuant une analyse de régression sur des paramètres uniques ou multiples relatifs à l'aléa, à l'exposition et aux conséquences (Christokov and Samardjieva, 1984 ; Cha, 1998 ; Nichols and Beavers, 2003 ; Jaiswal and Wald, 2010 ; Heatwole and Rose, 2013; Guettiche et al., 2017). Jaiswal and Wald (2010 ; 2013) calculent un taux de mortalité sismique et des pertes économiques en fonction de l'intensité macrosismique, c'est-à-dire un paramètre variant dans l'espace (à la différence des modèles basés sur la magnitude). Enfin, les conséquences dépendent également de l'exposition tels que la population exposée et le GDP régional ou par

habitant, deux paramètres essentiels à la prédiction (Wyss and Trendafilosky, 2011 ; Spence and al., 2011a ; 2011b ; Jaiswal and Wald, 2013 ; Holzer and Savage, 2013). Samardjieva and Badal (2002) et Jaiswal and Wald (2010) considèrent ainsi la population exposée pour évaluer les victimes, et Dunbar et al. (2003) et Heatwole and Rose (2013) proposent un modèle de pertes économiques s'appuyant sur le GDP par habitant.

Concernant les données relatives aux conséquences, les bases de données internationales (par exemple, NOAA, EMDAT) recensent les conséquences pour les séismes les plus récents mais la complétude des catalogues pour les séismes anciens de magnitude modérée reste incertaine (Nichols and Beaver, 2008 ; Holzer and Savage, 2013). Par ailleurs, tandis que l'occurrence des séismes suit un processus de Poisson stationnaire, c'est à dire que le taux annuel d'occurrence est constant sur deux périodes de temps distinctes, l'exposition n'est pas stable au cours du temps en lien avec l'évolution de la population et de la richesse des zones exposées. Dollet et Guéguen (2020) proposent ainsi de considérer ces taux d'occurrence en fonction des pertes économiques et humaines, par rapport à la population exposée et le GDP (Growth Domestic Product) exposé. Afin d'affiner les modèles d'occurrence des conséquences sismiques, l'objectif de cette étude est une tentative pour construire un catalogue complet et homogène des pertes sismiques pour prédire les conséquences probables des événements à venir. Cette approche est utile à la fois aux décideurs locaux de façon à motiver leurs actions de réduction du risque sismique et d'anticiper les situations de crise, ainsi qu'aux assureurs afin d'ajuster leurs outils de couverture assurantielle.

Dans un premier temps, les données utilisées pour ajuster les modèles de prédiction sont présentées. Puis la méthode est décrite, depuis la conversion des magnitudes en intensités épicentrales, puis l'estimation des aires exposées et le calcul de la population et des GDP exposés par intensité macrosismique, et enfin la construction des modèles de prédiction des pertes. A chaque étape, la qualité des modèles proposés est évaluée par la méthode de la vraisemblance (LH method, Scherbaum et al, 2004) et les résultats sont discutés. La méthode est ensuite appliquée à l'ensemble des événements de la base ISC-GEM respectant nos critères de sélection en ce qui concerne la période couverte et les magnitudes, en ne conservant que ceux pouvant exposer une population. Une fois le catalogue des pertes synthétiques construit, un modèle d'occurrence est proposé donnant la probabilité d'occurrence des pertes à venir. Enfin, des conclusions sont présentées.

4.2 Données

Les données utilisées dans le développement des modèles des pertes sismiques sont issues de la base de données de Dollet et Guéguen, (2020), composé de 445 séismes. Cette base intègre des événements sismiques ayant d'une part, une représentation spatiale de l'intensité macrosismique sous forme de Shakemap (Wald et al. 1999; Allen et al. 2009), et d'autre part, ayant provoqué des pertes sociales ou économiques recensées sur la période 1967-2018. Ces conditions sont nécessaires pour optimiser les modèles empiriques de prédiction des pertes sismiques pour un aléa donné en calculant les variables relatives à l'exposition par intensité macrosismique.

Les données relatives à l'aléa sont issues de l'Atlas of ShakeMap (Wald et al., 1999 ; Allen et al., 2009). A chaque ShakeMap est associé un séisme décrit en fonction de sa date d'occurrence, sa localisation (latitude, longitude, profondeur) et sa magnitude. Au final, 377 séismes ont été retenus (catalogue LEQ377), de magnitude comprise entre $[5 ; 8[$ (valeur moyenne 6.5) et ayant une intensité épacentrale (I_0) supérieure ou égale à V, avec suffisamment de séismes pour développer et tester des modèles et considérant les intensités pouvant provoquer des dommages (Grünthal et Musson, 1998). Dollet et Guéguen (2020) ont montré que les événements produisant la majorité des pertes cumulées sont dans des magnitudes entre $[5.6 ; 7.3]$, correspondant à 76% des événements sismiques de la base LEQ377. Ce nombre pourrait être plus important si la complétude des recensements des pertes était certaine. 1% des événements sont dans une zone à sismicité faible, 12% dans une zone à sismicité modérée et 87% dans une zone à sismicité forte (zones définies selon GFDRR, 2019). 24% des séismes sont des séismes de subduction, considérés pour une profondeur supérieure à 25km, et 50% ont une profondeur hypocentrale inférieure ou égale à 14.3km.

Les données relatives aux conséquences socio-économiques ont été extraites des bases de données internationales faisant autorité dans le domaine (NOAA, 2018 ; EM-DAT, 2018 ; CATDAT, 2018 ; Desinventar, 2018 ; GEM, 2018 ; GFDRR, 2018). Pour le catalogue LEQ377, les paramètres considérés sont le nombre de victimes F (281 événements), le nombre de blessés J (289 événements) et les pertes économiques directes L\$ (309). Les pertes économiques ont été homogénéisées et ajustées à une année de référence 2016, en US\$, en utilisant un indice économique moyen issus des indicateurs économiques relatifs aux prix à la consommation et à la construction (Dollet and Guéguen, 2020).

Les données relatives à l'exposition – population et GDP exposés – ont été calculées puis ajustées à la date du séisme (Dollet et Guéguen, 2020). La population exposée favorise la réduction des incertitudes dans les modèles de prédiction des pertes sociales (Guettiche et al., 2017). Dollet et Guéguen (2020) ont privilégié le calcul du GDP par habitant exposé en US\$2016 pour mesurer le développement de la zone concernée, ce qui

donne selon Schumacher et Strobl (2011) une meilleure signification statistique des résultats de pertes.

La Figure 4.1. représente la part des pertes socio-économiques par intensité épacentrale (I_0) de la base LEQ377. Les séismes d'intensité I_0 entre VII et IX contribuent le plus (en nombre) aux séismes contenus dans LEQ377. Les pertes sociales (victimes et blessés) et les pertes économiques des séismes $I_0 \geq VII$ représentent respectivement 99% et 83% des pertes totales de la base LEQ377. Entre V et VI, les pertes humaines et économiques sont faibles, représentant seulement 1% de la totalité des pertes sociales et 17% des pertes économiques. La dispersion est importante quelles que soient les intensités et les pertes considérées, avec de nombreuses valeurs atypiques (au-delà des 4^{ème} quartiles), suggérant l'importance des données d'exposition comme données d'entrée des modèles. Les « moustaches » de chaque boîte sont asymétriques, plus importantes vers les faibles valeurs de pertes, signifiant que dans chaque intensité une partie seulement des séismes (les plus forts) contribue majoritairement aux pertes. La position de la médiane dans chaque boîte à moustache informe aussi sur l'asymétrie des données par intensité I_0 .

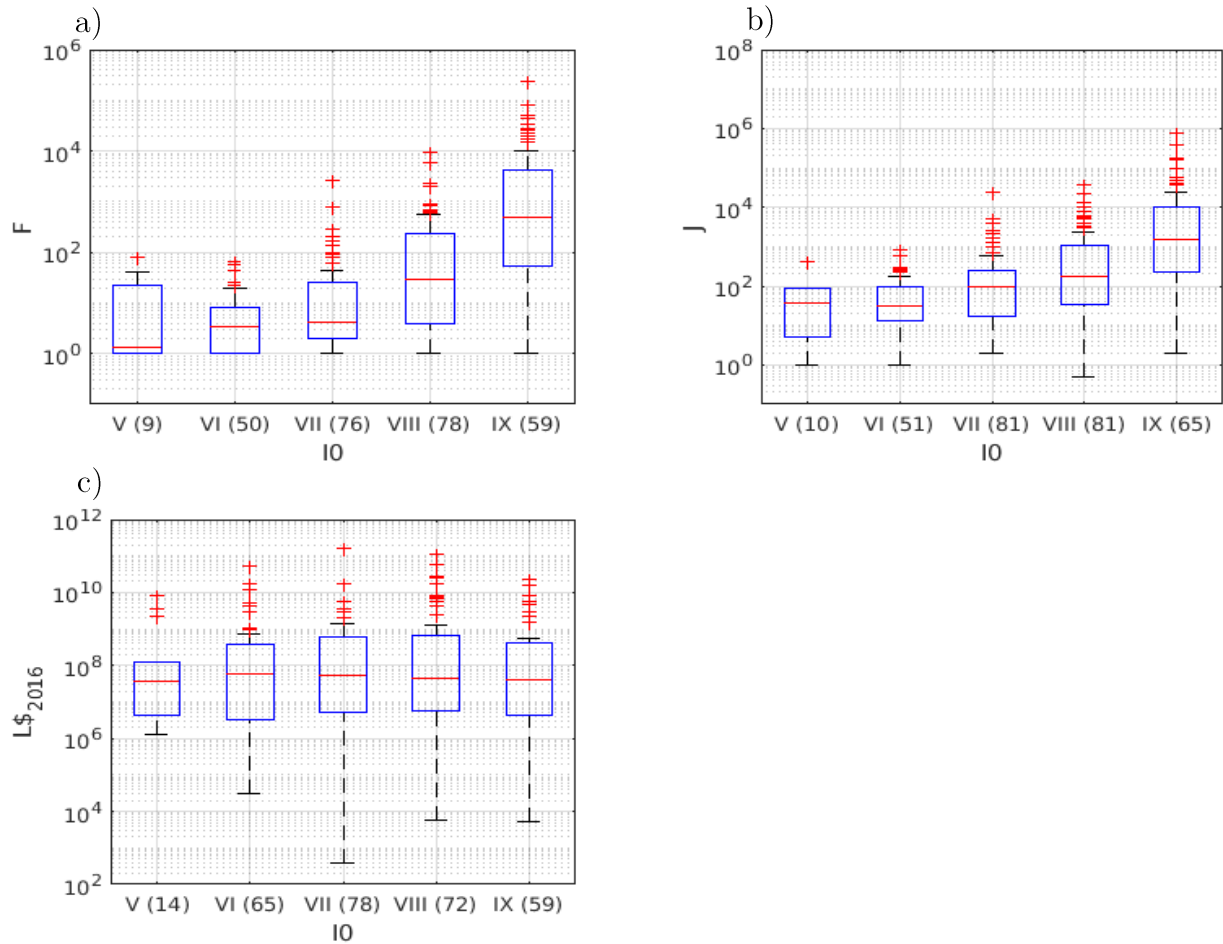


Figure 4.1. Contribution des pertes moyennes sociales et économiques par intensité épiscopentrale I0 des évènements sismiques de la base LEQ377. a) le nombre de morts (F). b) le nombre de blessés (J). c) les pertes économiques directes (L\$2016). Le nombre d'évènements sismiques par intensité I0 est indiqué entre parenthèses.

4.3 Méthode

L'organigramme (Figure 4.2.) présente les principales étapes suivies pour la constitution de la base de données synthétiques des pertes sismiques. L'intensité I0 dérivée de la magnitude, les variables d'exposition (A_{exp} , Pop_{exp} et GDP_{exp}) et les pertes sociales (F et J) et économiques (L\$) sont obtenues à partir de modèles ajustés et testés aux données de la base LEQ377

4.3.1 Test des modèles

A chaque étape, l'efficacité du modèle est évaluée par les indicateurs issus de la méthode de vraisemblance (« likelihood ») (Edwards, 1992 ; Scherbaum et al., 2004). Cette approche, classiquement utilisée dans l'analyse des modèles de prédiction du mouvement du sol, permet d'effectuer une évaluation des modèles développés à chaque étape et de les tester de façon rapide et efficace (Edwards, 1992). La mesure de la qualité de modèle (« goodness-of-fit ») permet d'une part de quantifier l'ajustement du modèle, et d'autre part de mesurer dans quelle mesure les hypothèses du modèle statistique sont satisfaites (Scherbaum et al., 2004). Scherbaum et al., (2004) ont combiné les propriétés des distributions des résidus avec la mesure de vraisemblance (LH). Les résidus sont normalisés afin d'aboutir à une distribution avec une moyenne nulle et une variance unitaire. Les valeurs absolues de la moyenne (Mean-NRES), de la médiane (Med-NRES) et de l'écart-type (Std-NRES) renseignent sur la tendance centrale et sur la diffusion de la distribution, c'est-à-dire la qualité de l'ajustement des modèles dérivés. La qualité de l'ajustement est mesurée en calculant la probabilité $LH(|z_0|)$ pour que la valeur absolue d'un échantillon aléatoire de la distribution normalisée se situe entre le module d'un résidu observé particulier z_0 et ∞ , en considérant les deux queues de la distribution de l'erreur $\text{Erf}(z)$, soit (Scherbaum et al., 2004) :

$$LH(|z_0|) = \text{Erf}\left(\frac{|z_0|}{\sqrt{2}}, \infty\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{|z_0|/\sqrt{2}}^{\infty} e^{-t^2} dt \quad (4.1.)$$

Nous supposons que chaque modèle développé peut être décrit par une distribution log-normale. Si « les hypothèses du modèle correspondent exactement pour des échantillons tirés d'une distribution normale à variance unitaire, les échantillons de la variable aléatoire LH sont également répartis entre 0 et 1 ». Cela permet de quantifier aisément la qualité d'ajustement à partir de la valeur médiane définissant la distribution des valeurs de LH (Scherbaum et al., 2004).

Scherbaum et al., (2004) ont classé les modèles en trois catégories en fonction des indicateurs de qualité (Table 4.1.). Un modèle est de classe D (inacceptable, non indiqué dans le Table 4.1.) si les indicateurs ne justifient aucun critère des catégories A, B et C. Notons que ces critères sont déterminés à partir des données, c'est-à-dire qu'ils mesurent la qualité du modèle uniquement dans les limites des données disponibles (Scherbaum et al., 2004).

Table 4.1. Classification du modèle en fonction de sa capacité à correspondre aux données observées, selon les paramètres définis par Scherbaum et al. (2004). Avec Med-LH, la valeur médiane de LH et σ_N , l'écart-type normalisé de l'échantillon.

Classe	Acceptation	Med-LH	Mean-NRES	Med-NRES	Std-NRES	σ_N
C	Basse	≥ 0.2	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 0.75	≤ 1.5
B	Intermédiaire	≥ 0.3	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 0.5	≤ 1.25
A	Elevée	≥ 0.4	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 1.125

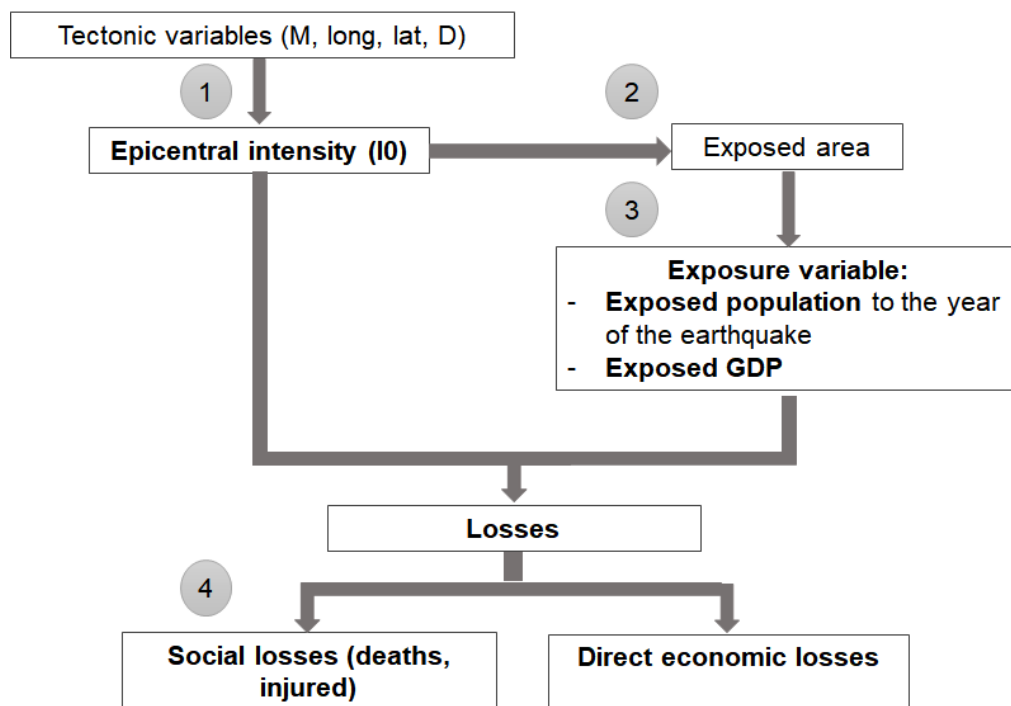


Figure 4.2. Organigramme général simplifié de la création de la base de données synthétiques des pertes sismiques globales. Avec M la magnitude et lat (latitude), long (longitude) et D (profondeur) la localisation du séisme.

4.3.2 Etape 1 - Conversion des magnitudes en intensité épiscopentrale

L'intensité épiscopentrale des événements de la base LEQ377 est calculée à partir des paramètres caractérisant le séisme, en ajustant une équation de prédiction d'intensité (IPE) (Atkinson et Wald, 2007 ; Stromeyer and Grünthal, 2009 ; Szeliga et al., 2010 ; Bindi et al., 2011). Elles dépendent de la profondeur et de la magnitude. La forme fonctionnelle associée est donnée par :

$$I0 = a + bM + c * \log(D) + \sigma \quad (4.2.)$$

avec a , b et c les coefficients de la régression, σ l'écart-type, D la profondeur du séisme, M la magnitude et $I0$ l'intensité épiscopale. Quatre relations ont été dérivées par moindres carrés en considérant les rangs de magnitude (C56 : $5 \leq M \leq 6$; C67 : $6 \leq M \leq 7$; C78 : $7 \leq M \leq 8$) et toutes les magnitudes (C58 : $5 \leq M \leq 8$) des événements sismiques de la base LEQ377. Les distributions des résidus et les valeurs LH sont représentées Figures 4.3. et 4.4., respectivement pour toutes les magnitudes (C58) et les catégories C56, C67 et C78. Le tableau (Table 4.2.) regroupe les coefficients de l'équation du modèle (Eq. 4.2.), le classement des différentes IPE et les indicateurs de qualité d'ajustement du modèle. Pour la catégorie C58 (Figure 4.3.), la médiane de la distribution LH est de 0.29, et considérant que la valeur absolue de la moyenne et de la médiane des résidus normalisés est de 0 et 0.08, respectivement (Table 4.2.), la relation d'atténuation d'intensité pour toutes les magnitudes est classée en classe intermédiaire (B). La distribution des résidus normalisés (Figure 4.3a) montre que la variance de l'échantillon testé est plus grande que la variance du modèle. Les faibles valeurs de LH ont une fréquence qui augmente (Figure 4.3b) et la distribution de LH a une valeur médiane qui diminue en dessous de 0.5 (Scherbaum et al., 2004). La distribution des résidus n'évolue pas avec la magnitude (Figure 4.3c).

Table 4.2. Classement des différentes relations d'atténuation d'intensité convertissant les magnitudes en intensité I0

Catégorie de magnitude	Coefficients Eq. 4.2.	Valeur	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Nombre
C58 $5 \leq M < 8$	a	1.35	B	0.29	0.08	0	1.41	377
	b	1.22						
	c	-0.69						
	σ	0.80						
C56 $5 \leq M < 6$	a	2.19	C	0.19	0.03	0	2.56	85
	b	0.89						
	c	-0.30						
	σ	0.72						
C67 $6 \leq M < 7$	a	0.77	B	0.24	0.18	0	1.48	187
	b	1.43						
	c	-0.95						
	σ	0.82						
C78 $7 \leq M < 8$	a	5.40	C	0.20	0.03	0	1.67	105
	b	0.64						
	c	-0.64						
	σ	0.72						

Concernant les relations utilisant les différentes catégories de magnitude (Figure 4.4.), les valeurs de la médiane de la distribution LH valent 0.19, 0.24 et 0.20 pour les relations appliquées à C56, C67 et C78, respectivement. En considérant la valeur absolue de la moyenne (0) et de la médiane des résidus normalisés (0.03) pour les catégories C56 et C78, les modèles sont classés dans la classe de prédiction basse (C). En conclusion, dans la suite de l'étude, nous utiliserons la relation d'atténuation d'intensité utilisant toutes les magnitudes (modèle pour C58), ajustant mieux les données de la base LEQ377.

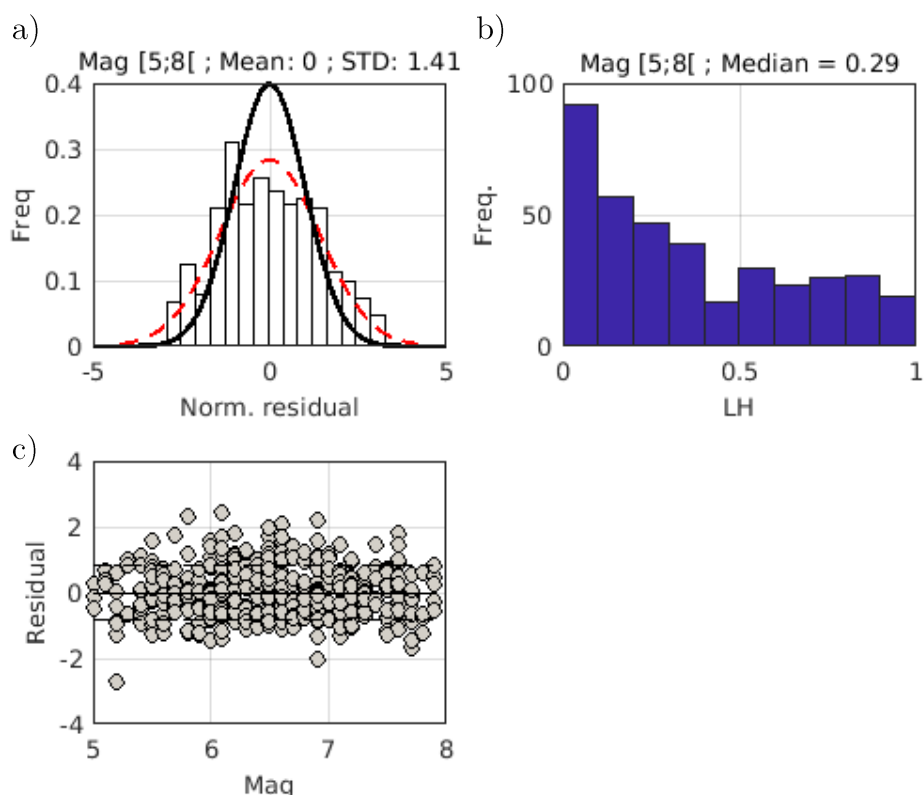


Figure 4.3. Modèle de prédiction de l'intensité I_0 en fonction de la magnitude et de la profondeur (Eq. 4.2.) ajusté aux données de magnitude C58 ($5 \leq M \leq 8$). (a) : distribution des résidus (normalisés par l'écart type du modèle) ; (b) distribution des valeurs LH (Median= médiane de la distribution des valeurs LH) ; (c) distribution des résidus par rapport à la magnitude. Les deux fonctions (a) représentent la distribution normale de variance unitaire (ligne continue noir) et la distribution résiduelle observée (ligne discontinue rouge).

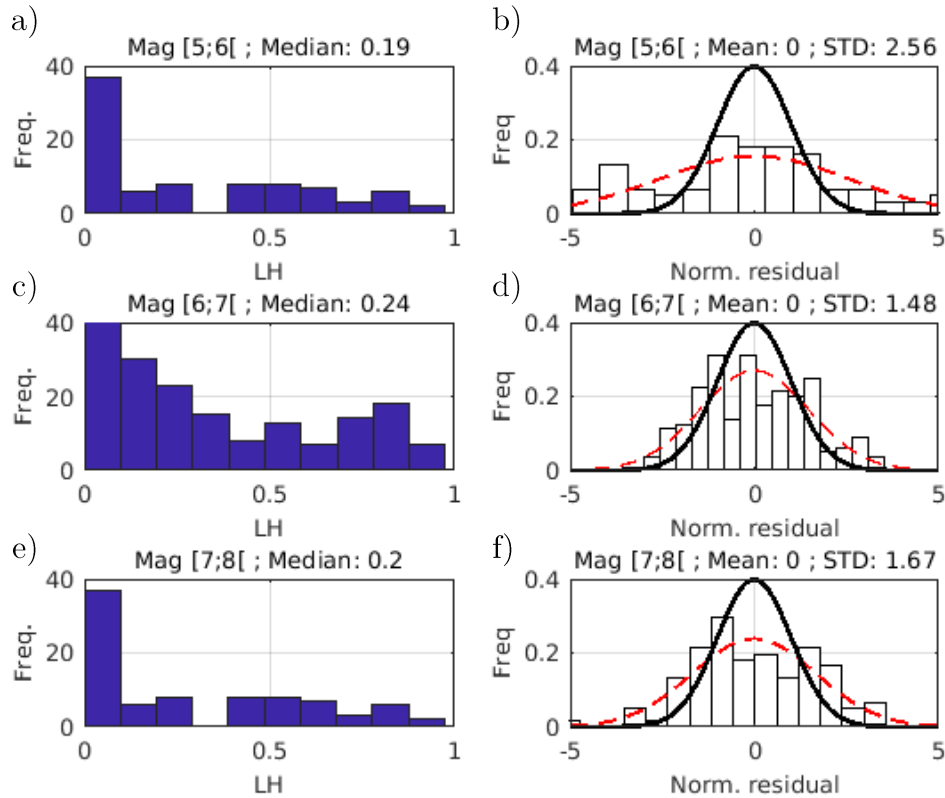


Figure 4.4. Idem que Figure 4.3a et 4.3b par rang de magnitude.

4.3.3 Etape 2 - Conversion des I0 en aire exposée par intensité

L'aire exposée à chaque niveau d'intensité est d'autant plus grande que le couple magnitude/profondeur est important (Levret et al., 1994 ; Bakun et Scotti, 2006). La Figure 4.5. représente l'aire exposée cumulée, c'est-à-dire la somme des aires $\sum_i^I A_{exp_i}$ des $I > IV$ générées par des séismes d'intensité épacentrale I0 variant de V à IX, contenus dans la base LEQ377. Deux catégories de séismes sont représentées en fonction de la profondeur : D=5km (a) et D=15km (b). D'une part, plus l'épicentre est profond, plus les surfaces cumulées exposées sont grandes. D'autre part, plus I0 est élevé, plus les aires des intensités macrosismiques générées ($I < I_0$) sont élevées. On constate également que de considérer I0 plutôt que la magnitude rend la prédiction des aires exposées plus cohérente, c'est-à-dire l'augmentation des aires cumulées en fonction de I0 (et non de la magnitude).

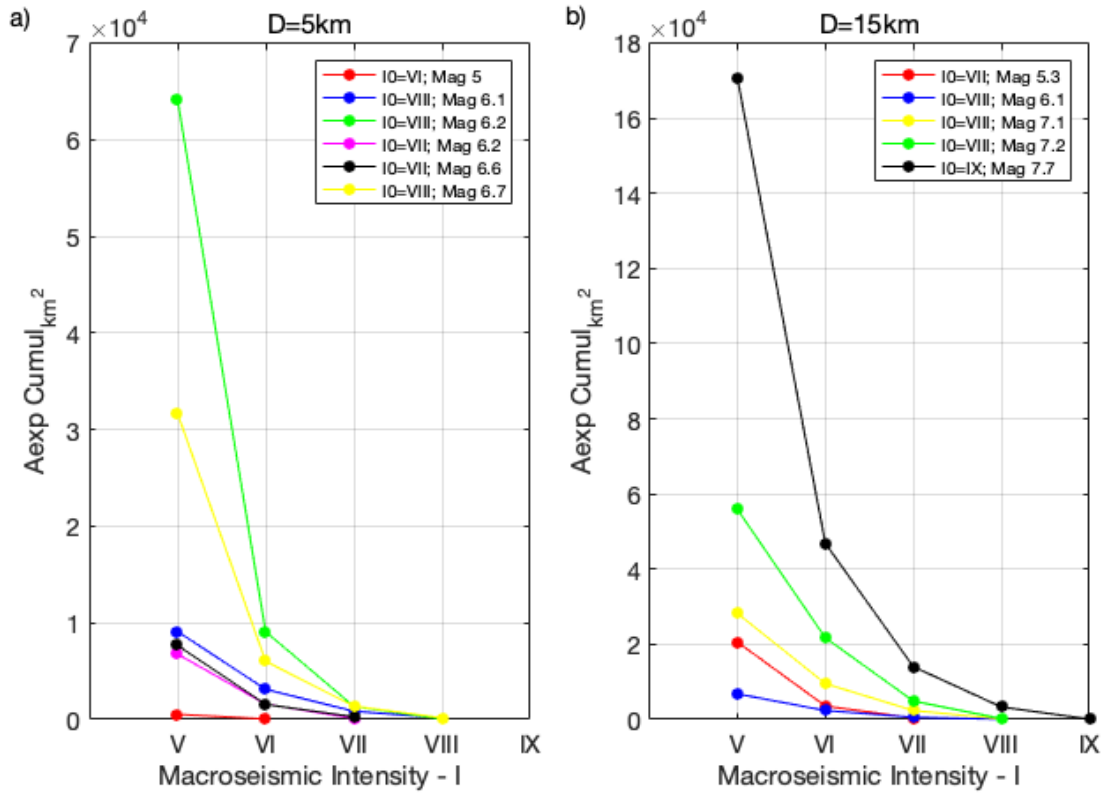


Figure 4.5. Représentation de l'aire exposée cumulée pour des séismes contenus dans LEQ377, par intensité I pour des événements sismiques de profondeur (a) $D=5\text{km}$ et (b) $D=15\text{km}$ pour une intensité maximale I_0 allant de VI à IX.

Le modèle de prédiction de A_{exp} cumulée par intensité est développé en fonction de I_0 et de D , comme initialement proposé par Dollet et Guéguen (2020). L'aire exposée cumulée par intensité est fournie par l'empreinte des ShakeMap des événements LEQ377 délimitée par les courbes iso-intensités. Il n'existe pas de formes fonctionnelles standard pour estimer A_{exp} et nous choisissons deux formes dérivées de formes classiques pour la prédiction du mouvement sismique (Cauzzi et Faccioli, 2008) ou des intensités (Bakun et Scotti, 2006) de la forme :

$$\log(A_{\text{exp}/I}) = a(I) * I_0 + b(I) * D + c(I) * \log(D) \quad (4.3a)$$

$$\log(A_{\text{exp}/I}) = a(I) * D + b(I) * \log(D) \quad (4.3b)$$

pour un I_0 donné, avec a , b et c les coefficients du modèle fonction de l'intensité macrosismique I , σ l'écart-type, $A_{\text{exp}/I}$ l'aire exposée cumulée (en km^2) par intensité

macrosismique I, et D en km. Sans détailler plus, le modèle (Eq. 4.3a) ne répond pas aux critères d'ajustement aux données de LEQ377 et les classes de qualité sont faibles (Table 4.3.).

Table 4.3. Classes des modèles calculant l'aire exposée par intensité suivant l'Eq. (4.3a).

I0	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Nombre
V	C	0.28	0.05	0.02	1.54	41
VI	D	0.15	0.11	0.06	2.07	112
VII	D	0.07	0.23	0.08	2.56	102
VIII	D	0	0.52	0.15	6.33	83
IX	C	0.25	0.19	0	2.16	33

Les paramètres du modèle de l'équation 4.3b sont fonction de l'intensité macrosismique : pour tester le modèle Eq. 4.3b, nous développons ainsi 15 relations calculant l'aire exposée pour chaque intensité I et pour I0 compris entre [V ; IX]. Le tableau (Table 4.4.) regroupe les paramètres du modèle Eq. 4.3b, le classement des modèles calculant A_{exp} par intensité et les indicateurs de qualité d'ajustement.

A l'exception d'un cas, les résultats en termes de classe sont comparables (Table 4.4.). La Figure 4.6. illustre pour I0=VII la distribution des résidus normalisés (4.6a), des valeurs LH (4.6b) et la représentation des résidus en fonction de la profondeur (4.6c) de chaque intensité $I < I0$. Le résidus moyen associé pour $I=V$ à VII est respectivement 0.1, 0, 0, avec un écart-type de la distribution résiduelle égal à 0.75, 0.87 et 1.65 (Table 4.4.), respectivement. La distribution des résidus dépend de la profondeur des séismes (Figure 4.6c), c'est-à-dire une sous-estimation pour les profondeurs supérieure à 30 km. La médiane de la distribution des valeurs de LH (4.6b) est de 0.55, 0.51 et 0.26 pour $I=V$, $I=VI$ et $I=VII$, respectivement. Etant donné que la valeur absolue de la médiane des résidus normalisés vaut 0.06 pour $I=V$, 0.02 pour $I=VI$ et 0.05 pour $I=VII$, le modèle de prédiction de l'aire exposée cumulée est classé en A (Table 4.4.).

Les mêmes tendances sont observées pour I0=VI (Figure 4.7.). La valeur médiane de LH vaut 0.69 pour $I=V$ et 0.46 pour $I=VI$. Les valeurs absolues de la moyenne et de la médiane des résidus normalisés sont respectivement 0.2 et 0.04 pour $I=V$ et 0.2 et 0.18 pour $I=VI$. Finalement, le modèle d'aire exposée cumulée pour I0=VI est classé en A.

Remarquons que les distributions des résidus normalisés (Figure 4.6a et 4.7a) sont plus étroites qu'une distribution normale unitaire. L'échantillon a une variance plus petite que celle du modèle, caractérisé sans biais en termes de moyenne (Scherbaum et

al., 2004). La médiane de LH augmente au-delà de 0.5 et les distributions de LH associées sont asymétriques. Les relations sous-estiment l'aire exposée cumulée pour chaque intensité. La distribution des valeurs LH semble être asymétrique pour l'ensemble des modèles lorsque l'intensité I est inférieure stricte à I0, avec une valeur de la médiane de LH supérieure à 0.5. Lorsque l'intensité I=I0, alors la fréquence des faibles valeurs de LH augmente et la médiane de la distribution de LH diminue en dessous de 0.5. Selon la Table 4.4., les modèles d'aire exposée cumulée pour chaque I0 sont dans les classes intermédiaires (B) à élevées (A), à l'exception de I0=VIII.

Table 4.4. Classement des modèles calculant l'aire exposée cumulée par intensité suivant l'Eq. (4.3)

I0	A _{exp} cumulée par intensité	Valeur coefficient a	Valeur coefficient b	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Nombre
V	A _{exp} /I=V	-0.012	1.96	B	0.27	0.24	0.09	1.50	41
VI	A _{exp} /I=V	-0.037	3.18	A	0.69	0.04	0.20	0.63	112
	A _{exp} /I=VI	-0.031	2.25	A	0.46	0.18	0.23	1.18	
VII	A _{exp} /I=V	-0.098	4.20	A	0.55	0.06	0.10	0.75	108
	A _{exp} /I=VI	-0.069	3.45	A	0.51	0.02	0.09	0.87	
	A _{exp} /I=VII	-0.030	2.19	B	0.26	0.05	0.06	1.65	
VIII	A _{exp} /I=V	-0.090	4.43	A	0.68	0.24	0.18	0.60	83
	A _{exp} /I=VI	-0.069	3.84	A	0.63	0.23	0.16	0.65	
	A _{exp} /I=VII	-0.050	3.18	A	0.59	0.15	0.15	0.75	
	A _{exp} /I=VIII	-0.041	2.12	C	0.22	0.26	0.11	1.62	
IX	A _{exp} /I=V	-0.34	6.49	A	0.72	0.20	0.19	0.42	33
	A _{exp} /I=VI	-0.27	5.64	A	0.76	0.14	0.18	0.49	
	A _{exp} /I=VII	-0.21	4.87	A	0.78	0.08	0.18	0.56	
	A _{exp} /I=VIII	-0.14	3.93	A	0.78	0.02	0.17	0.69	
	A _{exp} /I=IX	0.021	1.85	A	0.55	0.15	0.02	1.40	

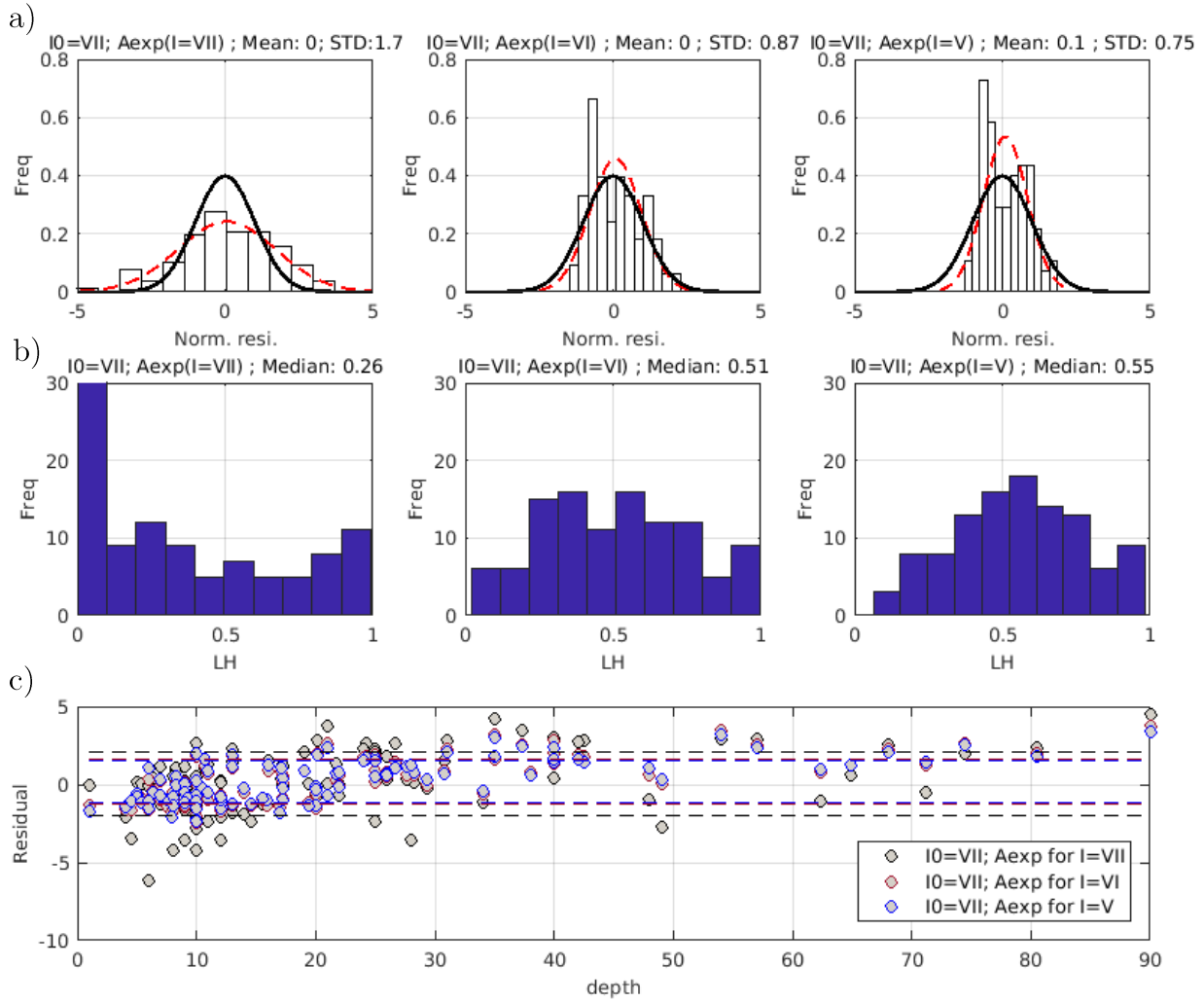


Figure 4.6. Distribution résiduelle (normalisée par l'écart type du modèle) (a), distribution des valeurs de LH (b) et distribution des résidus en fonction de la profondeur (c) pour le modèle d'aire exposée par intensité macrosismique I pour une intensité épiscoptrale $I_0=VII$. Les deux fonctions indiquent la distribution normale de variance unitaire (ligne continue noir) et la distribution résiduelle réelle (ligne discontinue rouge).

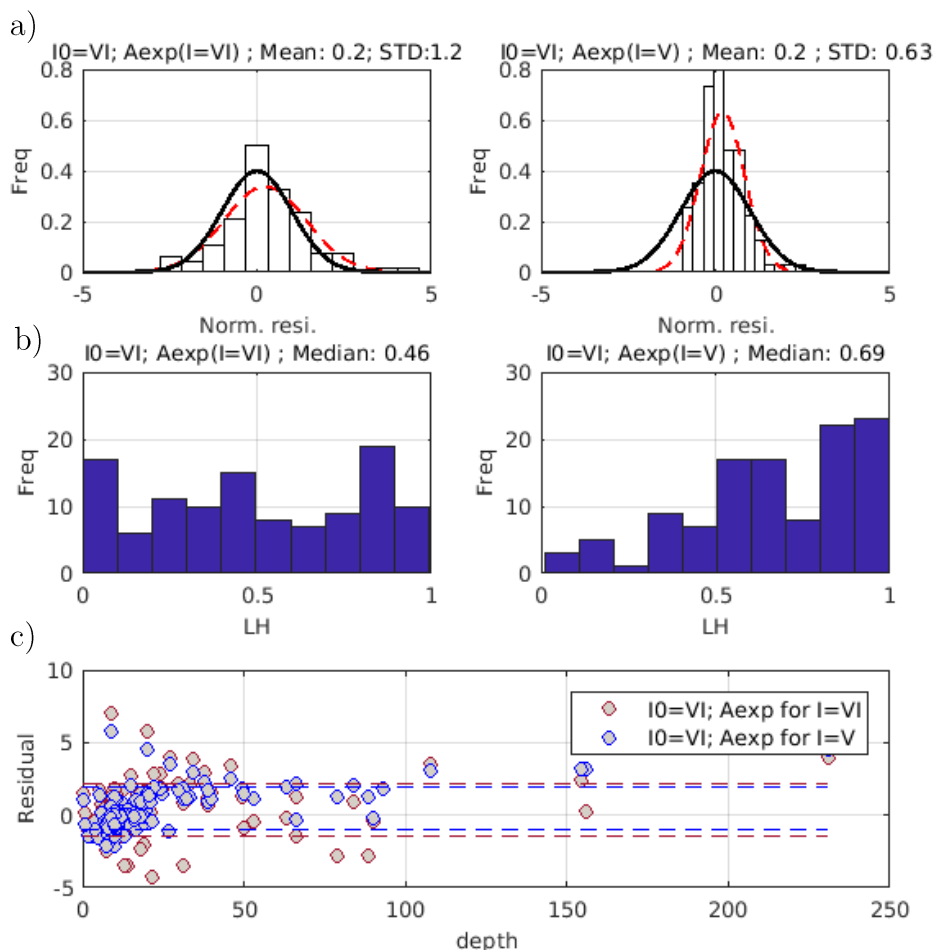


Figure 4.7. Idem que Figure 4.6. pour $I_0=VI$.

4.3.4 Etapes 3 et 4 - Modèles de pertes

Il est d'usage de considérer le modèle de prédiction des pertes comme un modèle de régression linéaire de la forme fonctionnelle suivante (Cha, 1998 ; Heatwole et Rose, 2013 ; Guettiche et al., 2017) :

$$\log_{10}(L) = c_1 * \log_{10}(I_0) + c_2 * \log_{10}(X_2) + \dots + c_i * \log_{10}(X_i) + \sigma \quad (4.4.)$$

avec $\log_{10}(L)$ représentant la fonction logarithmique décimale des conséquences économiques ou humaines, les valeurs de c_i sont les coefficients de la fonction, i désigne le nombre de variables X et σ représente le terme d'erreur. Cette étape nécessite de considérer les pertes exposées par intensité, correspondant à l'étape 3 de la Figure 4.2., calculées par Dollet and Guéguen (2020) à partir (1) de la grille géoréférencée de la population 2015 (Commission Européenne, 2019) et du facteur de conversion de la croissance démographique (Nations Unies, 2019) pour convertir la population exposée

par intensité à l'année du séisme; (2) du GDP par capita du pays impacté par le séisme (Word Bank, 2019) en US\$ à l'année du séisme et la population exposée calculée précédemment, converti à l'année 2016 par l'indice économique moyen.

4.3.4.1 Modèles de prédiction des pertes économiques (L\$2016) versus I0 et GDPexp

Dans la base de données LEQ377, seuls les évènements sismiques pour lesquels la perte économique est enregistrée sont considérés, c'est-à-dire 288 séismes. A la différence d'Heatwole et Rose, (2013) et Guettiche et al., (2017), nous considérons qu'utiliser les variables d'expositions dans chaque aire d'intensité macrosismique permet d'améliorer les résultats du modèle de prédiction des pertes. Pour cela, nous dérivons le modèle (DOL20) de l'Eq. 4.4. en considérant les GDP exposés calculés dans chaque intensité I comprise entre $[X_i=I ; i=V \text{ à } I0]$. La Figure 4.8. et le tableau (Table 4.5.) donnent les coefficients du modèle ainsi que le classement du modèle (Figure 4.8a). Deux modèles déjà existants produits par Guettiche et al. (2017) (Figure 4.8b) et Heatwole et Rose (2013) (Figure 4.8c) sont également testés :

$$\text{GUE17} \quad \log_{10}(L) = c_1 * \log_{10}(I0) + c_2 * \log_{10}(\text{GDP}_{\text{expTotal}}) + c_3 + \sigma \quad (4.5a)$$

$$\text{HEA13} \quad \log(L) = c_1 * \log(\text{Mag}) + c_2 * \log(\text{Pop}_{\text{expTotale}}) + c_3 + \sigma \quad (4.5b)$$

La distribution des valeurs de LH du modèle développé dans cette étude (Table 4.5.) donne une médiane de 0.30, et la valeur absolue de la moyenne et de la médiane des résidus normalisés valent respectivement 0.03 et 0.02, c'est-à-dire que le modèle est classé en B. Notons que la distribution des résidus normalisés (Figure 4.8a, panneau de gauche) est plus large qu'une distribution normale unitaire, l'échantillon obtient une variance plus élevée que la variance du modèle, les faibles valeurs de LH ont une fréquence qui augmente et la distribution de LH a une valeur médiane diminuant en dessous de 0.5 (Scherbaum et al., 2004). Le résidu moyen associé est de 0.0, avec un écart-type de la distribution égal à 1.51.

Le coefficient c_1 (Eq. 4.4., Table 4.5.) est élevé, ce qui indique que chaque augmentation de I0, entraîne une augmentation des pertes économiques très importante. Dans l'ensemble, cela suggère que les pertes économiques dues aux séismes dépendent beaucoup plus du paramètre définissant l'aléa que des paramètres définissant l'exposition.

Table 4.5. Classement des modèles de prédiction des pertes économiques DOL20 (cette étude), Guettiche et al., (2017, GUE17) et Heatwole et Rose (2013, HEA13). Les coefficients c_i correspondent aux valeurs d'exposition X_i (avec i compris entre $[V ; I0]$. GDP et L\$ donnés en million de \$US à l'année de référence 2016.

Modèle	Variable du modèle	Valeur	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Nombre
DOL20	C1	5.57	B	0.30	0.02	0.03	1.51	288
	C2	0.21						
	C3	0.05						
	C4	0.02						
	C5	0.11						
	C6	0.06						
	σ	1.21						
GUE17	C1	5.09	A	0.52	0.52	0.51	0.77	
	C2	0.61						
	C3	-1.16						
	σ	0.56						
HEA13	C1	8.4	A	0.51	0.13	0.12	1	
	C2	0.9						
	C3	-8.9						
	σ	1.5						

Les modèles GUE17 et HEA13 sont classés en A (Table 4.5.). Cependant, la Figure 4.9., qui représente la distribution des résidus des L\$ pour chaque modèle, montre une loi normale très dispersée pour HEA13 ($\mu=-0.4$, $\sigma=2.82$) (Figure 4.9c) et GUE17 ($\mu=-0.93$, $\sigma=1.59$) (Figure 4.9b). En revanche, le modèle dérivé dans cette étude (DOL20) a une meilleure distribution des résidus : $\mu=0$ et $\sigma=1.21$ (Figure 4.9a). Ainsi, même si notre modèle est de classe inférieure à celles de GUE17 et HEA13, la prise en compte de l'exposition localement améliore la distribution des résidus des pertes économiques.

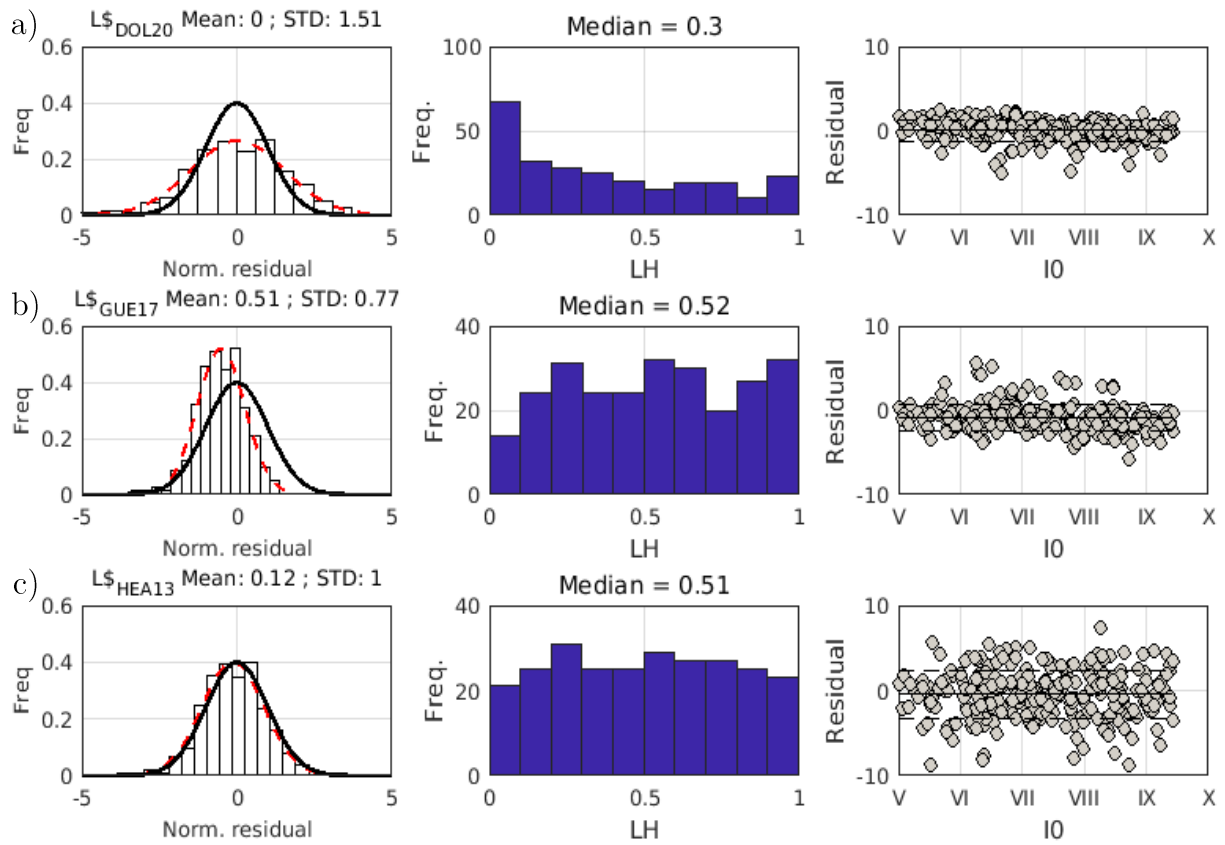


Figure 4.8. Idem que Figure 4.7. pour le modèle des prédictions des pertes économiques (Eq. 4.4.) pour le modèle développé dans cette étude DOL20 (a), le modèle GUE17 (b) et le modèle HEA13 (c).

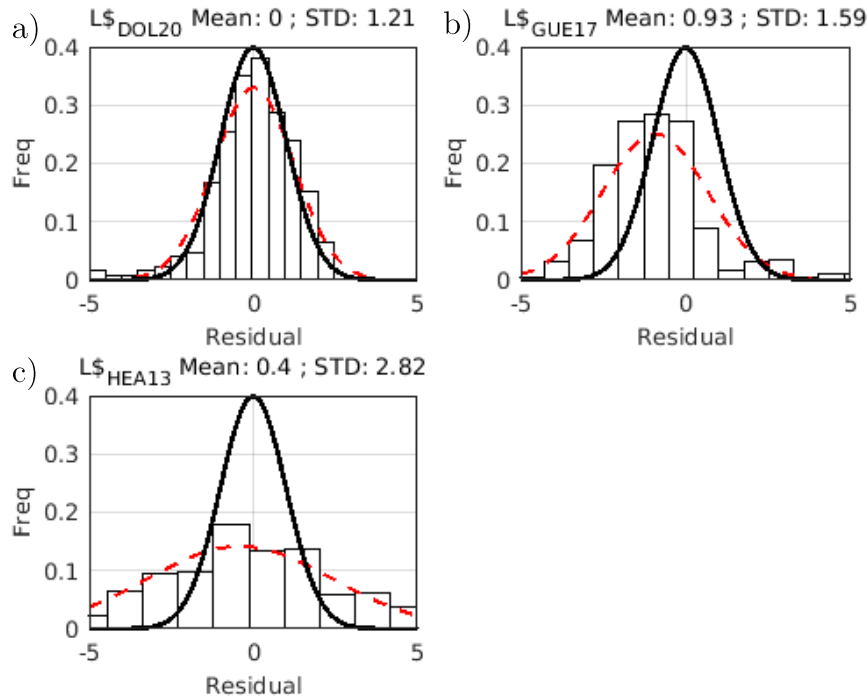


Figure 4.9. Distribution des résidus des pertes économiques (L\$) pour les modèles DOL20 (a), GUE17 (b) et HEA13 (c).

4.3.4.2 Modèles de prédiction des victimes F en fonction de I0 et POPexp

La Figure 4.10. et le tableau (Table 4.6.) résumant les résultats permettant d'évaluer la classe du modèle DOL20 pour la prédiction des victimes (DOL20) selon Eq. 4.4., et des modèles déjà existants de Guettiche et al., (2017) (Figure 4.10b) et de Badal et al., (2005) (Figure 4.10c). Les équations de ces modèles sont :

$$\text{GUE17} \quad \log_{10}(F) = c_1 * \log_{10}(I_0) + c_2 + \sigma \quad (4.6a)$$

$$\text{BAD05} \quad \log(F) = c_1(\text{Pop density}) * \text{Mag} + c_2(\text{Pop density}) + \sigma \quad (4.6b)$$

La médiane de la distribution des valeurs LH (0.26), et les valeurs absolues de la moyenne et de la médiane des résidus normalisés (0 et 0.39) classent ce modèle en intermédiaire (B). La Figure 4.10a montre que la variance de l'échantillon testé est plus grande que la variance du modèle. Les faibles valeurs de LH ont une fréquence qui augmente et la médiane de la distribution de LH diminue en dessous de 0.5 (Scherbaum et al., 2004). Bien que le modèle développé prédisant le nombre de victimes soit classé en B, il est important de noter que la dispersion du modèle est large. Le résidu moyen positif indique une sous-estimation du modèle de prédiction du nombre de victimes.

Lorsqu'il est représenté par rapport à l'intensité I_0 , la sous-estimation est plus évidente pour les intensités I_0 supérieures ou égales à VIII (Figure 10a, panneau de droite). Il serait possible d'améliorer l'ajustement du modèle en améliorant les données in situ des bases de données internationales des pertes, par exemple en considérant le nombre de victimes non pas global mais par intensité macrosismique. A la différence du modèle économique, nous remarquons que les valeurs des coefficients c_i (en valeur absolue) sont du même rang pour I_0 et pour les variables liées à l'exposition, ce qui suggère que les pertes humaines dues aux séismes dépendent autant du paramètre relatif à l'aléa que du paramètre lié à l'exposition.

Table 4.6. Classement des modèles de prédiction du nombre de morts DOL20 (cette étude), Guettiche et al., (2017, GUE17) et Badal et al., (2005, BAD05). Les coefficients c_i ($i>1$) correspondent aux valeurs d'exposition X_i (avec i compris entre $[V ; I_0]$).

Modèle	Variable du modèle	Valeur	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Number
DOL20	c_1	-0.37						
	c_2	0.18						
	c_3	0.02						
	c_4	0.08	B	0.26	0.39	0	1.44	272
	c_5	0.24						
	c_6	0.15						
	σ	0.89						
GUE17	c_1	12.8						
	c_2	-9.85	C	0.24	0.31	0.09	1.5	
	σ	0.89						
BAD05	σ	1.72	D	0.12	1.42	1.09	1.20	

Les modèles BAD05 et GUE17 qui prennent en compte l'exposition de manière globale, donnent une classe de rang très inférieure (D et C, respectivement). En particulier, en considérant la distribution des résidus des pertes (Figure 4.10, panneau de droite), le modèle BAD05 fournit une loi normale non centrée et dispersive ($\mu=-1.13$ et $\sigma=1.72$, tandis que DOL20 et GUE17 ont une loi centrée en 0 et réduite ($\mu=0$ et $\sigma=0.89$ pour DOL20 et $\mu=0.08$ et $\sigma=1.06$ pour GUE17). Toutefois, les résidus du modèle GUE17 dépendent de l'intensité épiscoptrale. Le modèle de notre étude est plus centré sur 0 et moins dispersé, et indépendant de l'intensité épiscoptrale. Ainsi, la prise en compte de la population exposée par intensité macrosismique et non de façon globale a un impact positif pour la prédiction du nombre de victimes.

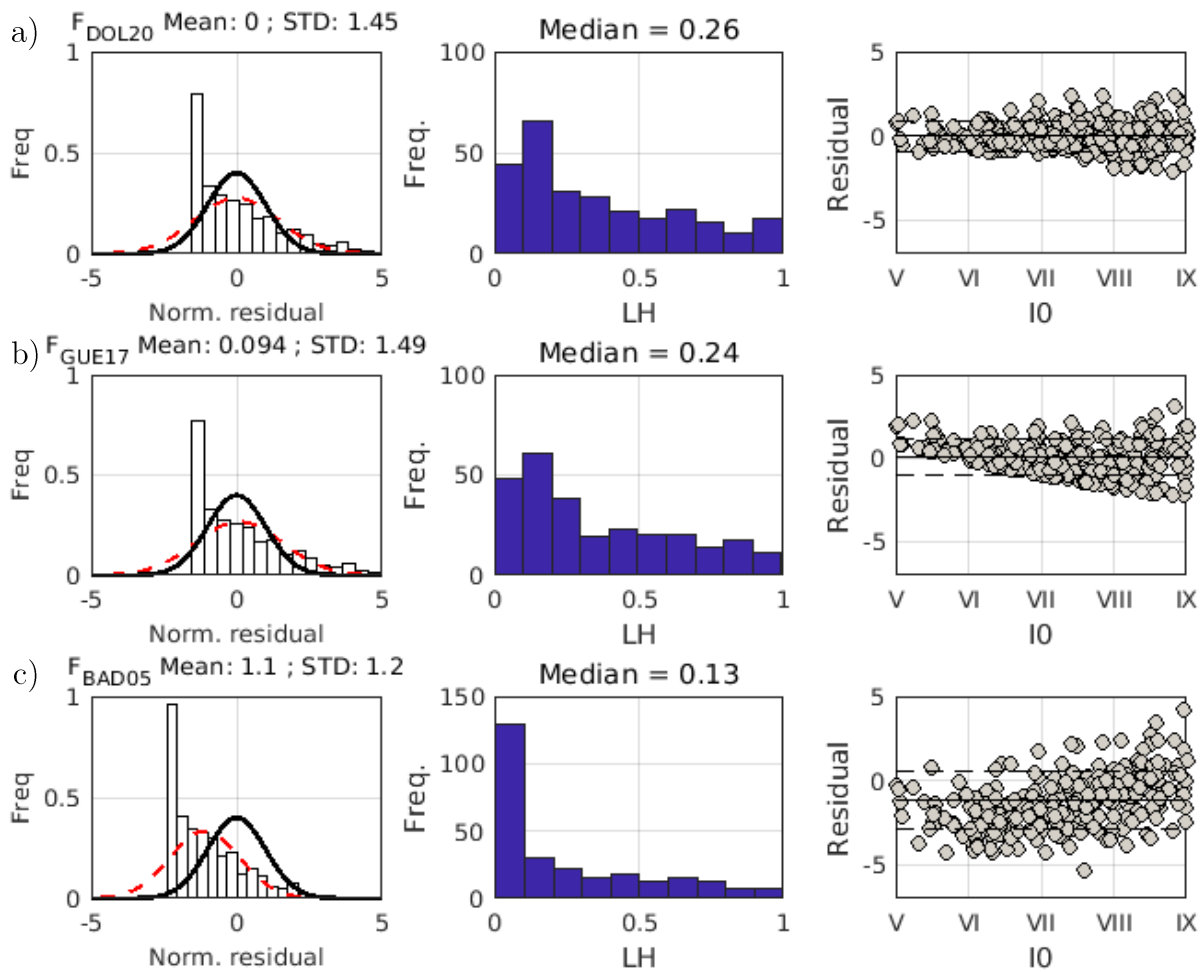


Figure 4.10. Idem que Figure 4.8. pour le modèle développé dans cette étude DOL20 (a), le modèle GUE17 (b) et le modèle BAD05 (c) pour les victimes (F).

4.3.4.3 Modèle de prédiction des blessés en fonction de IO et POPexp

Dans la même logique que pour le nombre de morts, nous émettons l'hypothèse que considérer les variables d'exposition par intensité améliore la prédiction du nombre de blessés. La Figure 4.11. et le tableau (Table 4.7.) résumant les résultats permettant d'évaluer la classe du modèle dérivé dans cette étude (DOL20) ainsi que vis-à-vis du modèle Guettiche et al., (2017) (Figure 4.11b) pour les blessés, selon l'équation :

$$\text{GUE17} \quad \log_{10}(J) = c_1 * \log_{10}(IO) + c_2 + \sigma \quad (4.7.)$$

La médiane de la distribution des valeurs LH vaut 0.31, les valeurs absolues de la moyenne et de la médiane des résidus normalisés valent respectivement 0 et 0.13. Le modèle développé pour les blessés est classé en B. Le résidu moyen positif indique une sous-estimation du modèle de prédiction du nombre de blessés, qui ne semble pas dépendre de l'intensité I_0 .

Table 4.7. Classement du modèle développé de prédiction du nombre de blessés (DOL20) et de celui de Guettiche et al., (2017). Avec I_0 l'intensité maximale, $POP_{exp_{I=i}}$ la population exposée par intensité I, i compris entre $[V ; I_0]$.

Modèle	Variable du modèle	Valeur	Classe	Med-LH	Med-NRES	Mean-NRES	Std-NRES	Number
DOL20	C_1	0.36	B	0.31	0.13	0	1.51	286
	C_2	0.26						
	C_3	-9e-4						
	C_4	0.07						
	C_5	0.15						
	C_6	0.09						
	σ	0.86						
GUE17	C_1	9.88	C	0.27	0.03	0.18	1.72	
	C_2	-6.52						
	σ	0.78						

Les résultats de la Figure 4.11. confirment l'hypothèse que la prise en compte de la population exposée par intensité améliore la prédiction du nombre de blessés, le modèle GUE17 étant classé en C. Les résidus des modèles DOL20 et GUE17 (Figure 4.11., panneau de droite) ont une loi centrée en 0 et réduite ($\mu=0$ et $\sigma=0.86$ pour le modèle DOL20 et $\mu=0.12$ et $\sigma=0.99$ pour le modèle GUE17). L'amélioration due à la prise en compte de l'exposition par intensité est visible sur la dispersion.

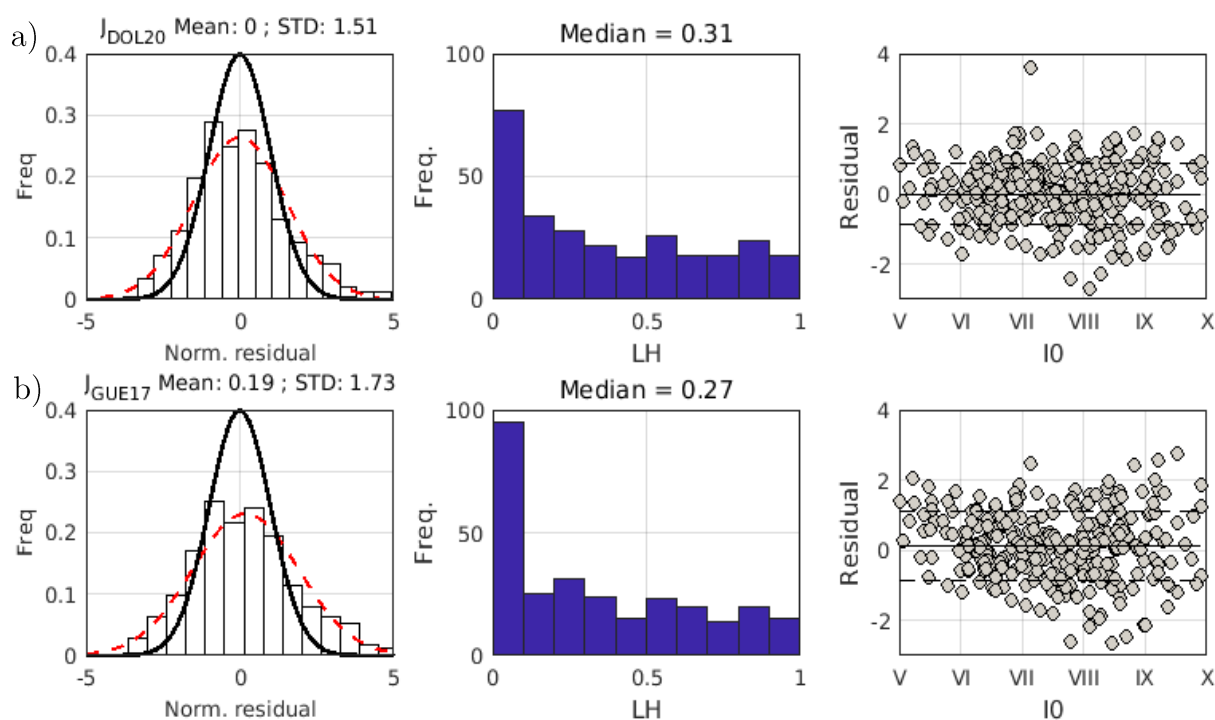


Figure 4.11. Idem que Figure 4.8. pour le modèle développé dans cette étude DOL20 (a), et le modèle GUE17 (b) pour les blessés (J).

4.4 Construction de la base synthétique

Dans cette section, la base de données synthétiques des pertes sismiques suit la procédure de la Figure 4.2., à partir des données du catalogue ISC-GEM (GEM, 2019 ; ISC, 2019) et des modèles empiriques définis précédemment.

L'intensité maximale I_0 est calculée selon l'Eq. 4.2., à partir des données magnitude et localisation du catalogue ISC-GEM (Etape 1, Figure 4.2.). Au final, 17,721 événements sismiques ayant une intensité maximale $\geq V$, de magnitude comprise entre $[5.5 ; 8[$ et couvrant la période 1967-2015 sont conservés.

Les variables d'exposition, à savoir $A_{exp/I}$, $Pop_{exp/I}$ et $GDP_{exp/I}$ par intensité macrosismique et pour chaque I_0 donnée, sont ensuite calculées. La population exposée et le GDP exposé par intensité sont obtenus à partir de A_{exp} dérivée de l'Eq. 4.3b (Etape 2, Figure 4.2.). Nous supposons que seuls les séismes dont l'aire cumulée exposée impacte une population peuvent provoquer des pertes. La population exposée par intensité doit donc être calculée en premier. La population exposée par intensité (Etape 3 Figure 4.2.)

(et par la suite le GDP par capita exposé) est calculée selon Dollet and Guéguen (2020), à partir de la grille géoréférencée de la population 2015 (Commission Européenne, 2019) et le facteur de conversion de la croissance démographique (Nations Unies, 2019), en considérant une surface iso-intensité circulaire équivalente à A_{exp} .

Il en résulte que 10,206 événements sismiques n'affectent aucune zone peuplée. La base de données réduite ISC (ISC7515) des événements exposant une population compte au final 7,515 événements (42%) sur la période 1967-2015, de magnitude comprise entre $[5.5 ; 8[$. La répartition des 7,515 événements sismiques par I0 est donnée Table 4.8. Nous supposons le catalogue ISC-GEM complet pour les magnitudes supérieures à 5.5 (Di Giacomo et al., 2018), et par conséquent le catalogue synthétique des pertes également.

Table 4.8. Répartition du nombre d'événements sismiques par I0 pour les 7,515 événements sismiques de la base ISC-GEM réduite

I0	[V-VI[[VI-VII[[VII-VIII[[VIII-IX[[IX-X[
Nombre	1,797	4,220	1,289	196	13

Dans un second temps, le GDP exposé par intensité est calculé suivant la même méthode fournie par Dollet et Guéguen (2020) en utilisant le GDP par capita du pays impacté par le séisme (Word Bank, 2019) en US\$ à l'année 2010 et la population exposée calculée précédemment. Puis l'indice économique moyen est appliqué pour ajuster le GDP exposé à l'année de référence 2016.

La Figure 4.12. montre la répartition du nombre de séismes par année, par profondeur et par magnitude de la base ISC7515. Les séismes ont une profondeur comprise entre 1.1 et 300 km. 50% des événements ont une profondeur hypocentrale inférieure ou égale à 28.9km (Figure 4.12b), c'est-à-dire que ce sont les séismes superficiels qui contribuent le plus aux pertes. Les magnitudes (Figure 4.12c) sont comprises entre $[5.5 ; 8[$, avec une valeur moyenne de 6.0. 95% des séismes sont compris entre $[5.5 ; 6.9]$ et 68% entre 5.5 et 6.4. Cela signifie que la plupart des événements du catalogue ISC7515 pouvant produire des pertes sont dans des magnitudes intermédiaires, déjà constaté par Dollet et Guéguen (2020) sur la base LEQ377. Les séismes ont une intensité maximale I0 comprise entre V et IX, avec une moyenne et une médiane de VI.

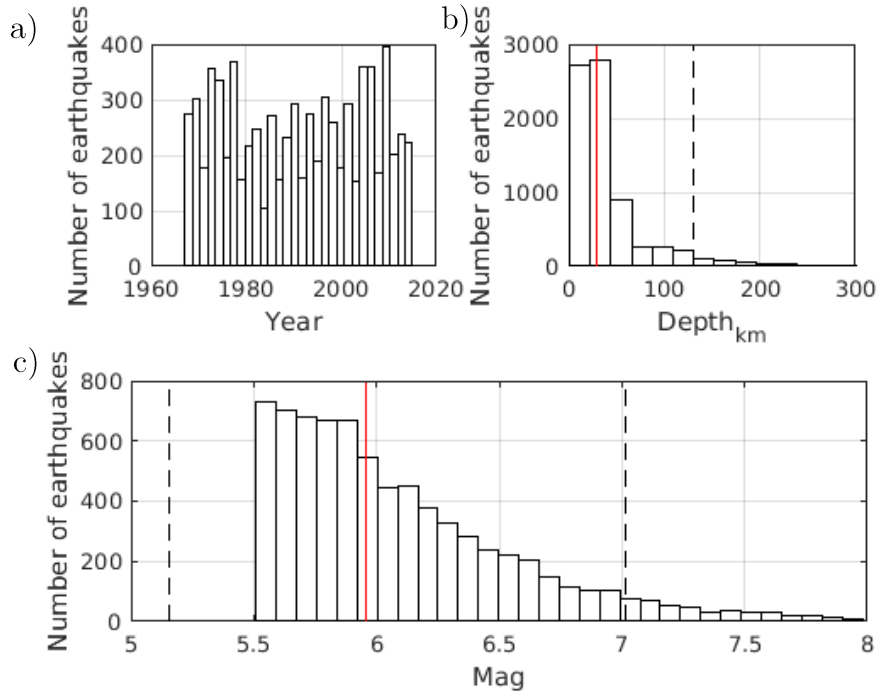


Figure 4.12. Répartition du nombre de séismes de la base ISC7515 comptant 7,515 évènements sismiques a) par année, b) par profondeur et c) par magnitude. Le trait continu vertical rouge représente la profondeur médiane des évènements égale à 28.9 km (b) et la magnitude médiane des évènements sismiques égale à 6.0 (c). Les traits pointillés noirs représentent l'intervalle de confiance de 95%, soit 1.96σ .

Les pertes sont finalement calculées selon les modèles Eq. 4.4. et les coefficients Table 4.5. (victimes) et 4.6. (blessés) (Etape 4 Figure 4.2.). Concernant le GDP par capita, seuls 6,809 évènements sismiques ont pu être considérés, les tables du World Bank (2019) ne fournissant pas les valeurs GDP pour certains pays exposés. Les pertes économiques à l'année de référence 2016 ont été calculées en US\$.

La Table 4.9. résume les indicateurs statistiques associés aux pertes économiques et sociales de la base synthétique ISC7515. Les pertes totales économiques ajustées à 2016 correspondent à 87,736 milliards de \$, avec une perte moyenne autour de 12,88 millions de \$. Les Kurtosis sont très élevés c'est-à-dire que les queues des distributions comptent plus d'observations que dans une distribution gaussienne, et qu'il y a beaucoup de valeurs éloignées de la moyenne. Cela signifie que les séismes les plus forts ($M \geq 7$) et les plus rares contribuent significativement aux pertes économiques (64%), et également aux pertes sociales (44% pour les victimes et 29% pour les blessés), même si la grande majorité des pertes cumulées correspond aux séismes de magnitude intermédiaire (autour de 6 : grand nombre, conséquence moindre). Au total, les séismes représentant 95% de la base ISC7515 de magnitude entre [5.5 ; 6.9] représentent 36% du total des pertes économiques, 56% du total des morts et 71% des blessés. Les séismes de magnitude intermédiaire

provoquent ainsi plus de pertes sociales cumulées mais moins de pertes économiques que les séismes de plus forte magnitude.

Table 4.9. Pertes économiques L\$ (en US\$ 2016), nombre de morts F et de blessés J de la base de données synthétiques ISC7515

	F	I	L\$ 2016
Valeur totale	54713	366559	87736086272
Moyenne	7	49	12885312
Ecart-type	79.7	198.1	145854342
Kurtosis	3379.9	2145.8	1775.2
Médiane	3.5	28.5	1950616
Nombre	7515	7515	6809

Suivant ce processus, les pertes des événements sismiques de la base LEQ377 ayant servi à ajuster les modèles de prédiction sont modélisées. La Figure 4.13. représente la distribution des résidus des pertes prédites et observées des 377 événements de la base LEQ377. Les modèles de pertes sous-estiment les pertes probables (moyenne positive) (Figure 4.13.). Les distributions des résidus pour les pertes sociales ou économiques suivent une distribution normale de valeur $\mu = 0.4$; $\sigma = 1.14$ pour F, $\mu = 0.31$; $\sigma = 1.02$ pour J et $\mu = 0.45$; $\sigma = 1.17$ pour L\$. On constate que les prédictions sous-estiment d'autant plus pour les intensités $I_{0} \geq VII$ (non représenté ici). Deux hypothèses pourraient expliquer cette sous-estimation : (1) une répartition des pertes en lien avec le dommage aux constructions, non prise en compte dans cette étude (car non disponible dans les bases internationales de type EMDAT, NOAA...) alors que les pertes sont très corrélées à l'effondrement des structures (Coburn et Spence, 2003 ; Riedel et al., 2014 ; 2015 ; Guettiche et al., 2017) ; (2) une incertitude importante liée à l'évaluation des aires exposées par intensité, qui se répercute sur l'estimation des populations et GDP exposés.

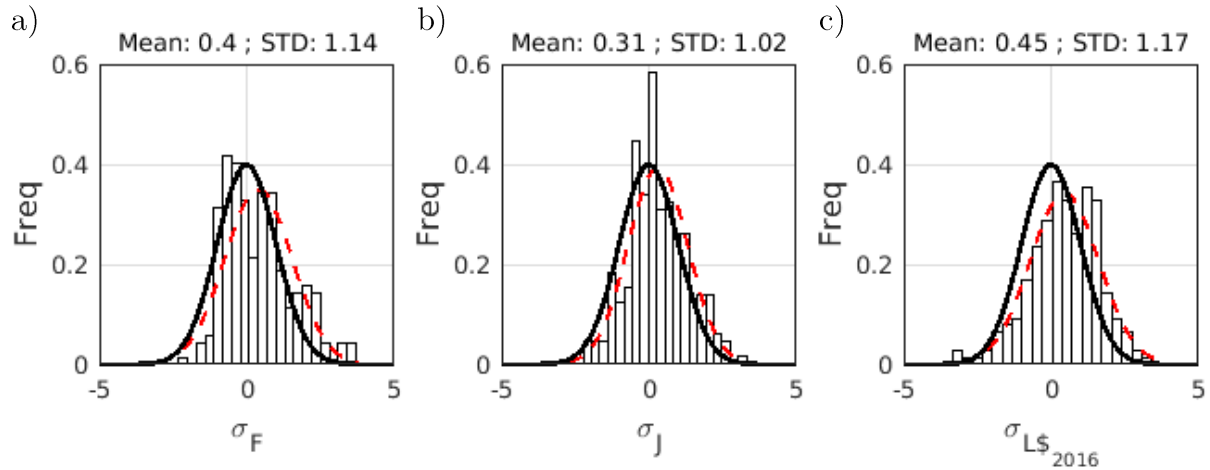


Figure 4.13. Distribution des résidus des pertes humaines (a), du nombre de blessés (b) et des pertes économiques (c) des événements sismiques (pred-obs) de la base LEQ377. Avec $\sigma_i = \log_{10}(i_{\text{obs}}) - \log_{10}(i_{\text{pred}})$.

4.5 Taux annuel d'excédance des pertes

Le modèle d'excédance est dérivé sur les 7,515 événements sismiques entre 1967 et 2015 selon la forme fonctionnelle suivante :

$$\log N(Y > X) = a - b * \log(X) \quad (4.8.)$$

$N(Y > X)$ représente le nombre Y de séismes ayant une perte sociale ($F/\text{Pop}_{\text{exp}}$ ou $J/\text{Pop}_{\text{exp}}$) ou économique ($L\$/\text{GDP}_{\text{exp}}$) supérieure ou égale à une perte donnée X exprimé en taux d'excédance annuel λ . Le modèle (Eq. 4.8.) est représenté sur la Figure 4.14. pour $F/\text{Pop}_{\text{exp}}$, $J/\text{Pop}_{\text{exp}}$ et $L\$/\text{GDP}_{\text{exp}}$. Les coefficients a et b valent $a = 3.08 \cdot 10^{-2}$ et $b = 9.06 \cdot 10^{-3}$ pour les victimes, $a = 3.98 \cdot 10^{-3}$ et $b = 8.60 \cdot 10^{-3}$ pour les blessés et $a = 4.63 \cdot 10^{-2}$ et $b = 1.16 \cdot 10^{-2}$ pour les pertes économiques. Les distributions des résidus pour les pertes sociales ou économiques suivent une distribution normale, de valeur $\mu = 0$; $\sigma = 6.10 \cdot 10^{-4}$ pour $F/\text{Pop}_{\text{exp}}$, $\mu = 0$; $\sigma = 4.56 \cdot 10^{-4}$ pour $J/\text{Pop}_{\text{exp}}$ et $\mu = 0$; $\sigma = 7.28 \cdot 10^{-4}$ pour $L\$/\text{GDP}_{\text{exp}}$. On constate que les résidus des pertes sont peu dispersés.

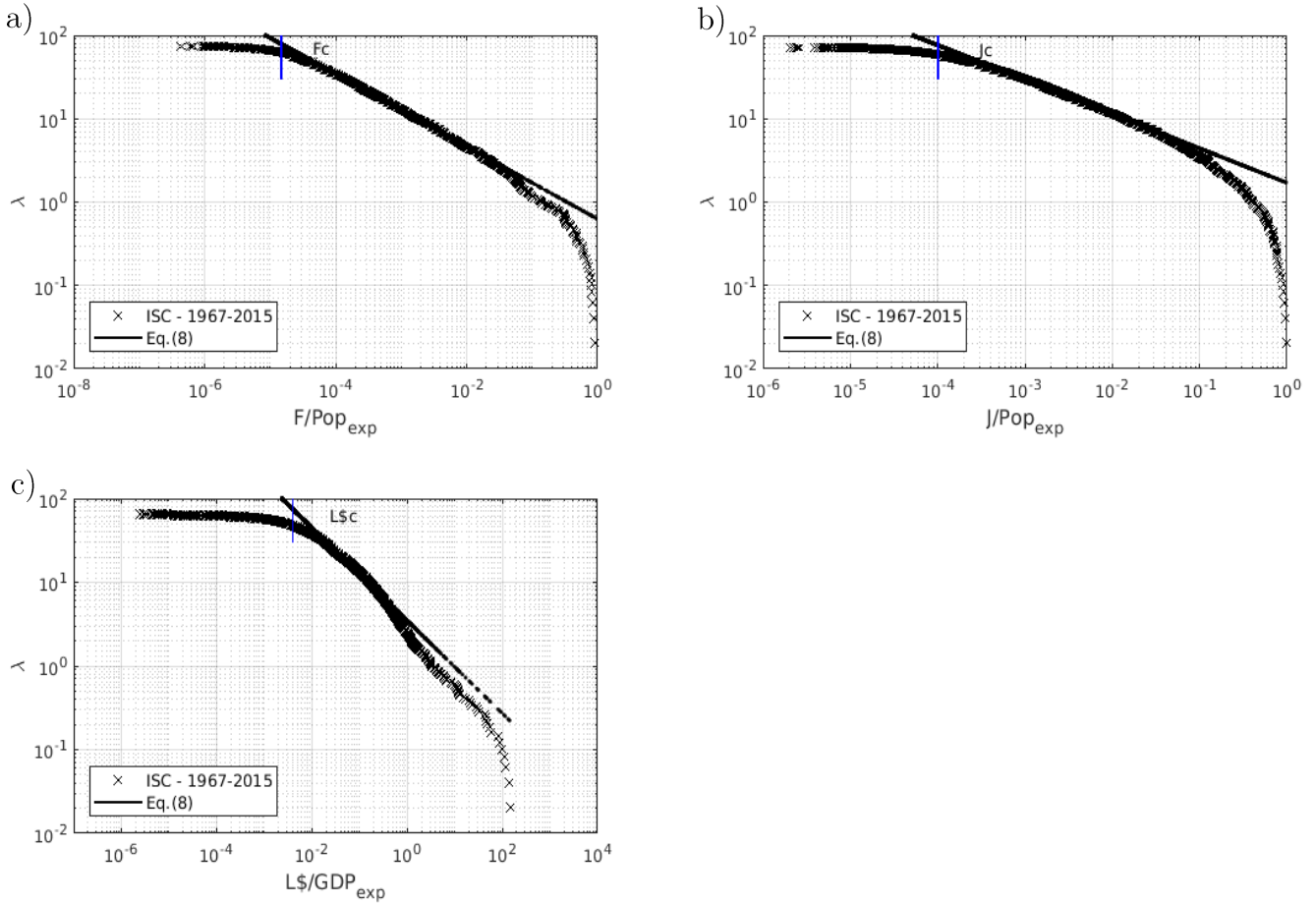


Figure 4.14. Taux annuel d'excédance des pertes. a) victimes par rapport à la population exposée ; b) blessés par rapport à la population exposée ; c) économique par rapport au GDP exposé.

L'utilisation des modèles permet de fixer la complétude de la base des données synthétiques de pertes ISC réduite, noté F_c égale à $1.5 \cdot 10^{-5}$ pour F/Pop_{exp} et J_c égale à $1.0 \cdot 10^{-4}$ pour J/Pop_{exp} . La complétude L_c correspondant à $L\$/GDP_{exp}$ est de l'ordre de 4.10^{-3} . Ces modèles d'occurrence montrent un taux annuel $L\$/GDP_{exp}$ de $3.0 \cdot 10^0$, J/Pop_{exp} de $3.0 \cdot 10^1$ (un blessé pour 30 personnes exposées) et un taux annuel F/Pop_{exp} d'un mort pour 20 personnes exposées ($2 \cdot 10^1 F/Pop_{exp}$) (Figure 4.14.).

On suppose que la fréquence des événements est indépendante de la date du dernier séisme, et que les séismes provoquant des pertes exprimées en fonction de l'exposition obéissent à une distribution stationnaire de Poisson, c'est-à-dire avec un taux indépendant de la population mondiale (Dollet et Guéguen, 2020). La probabilité P qu'au moins un séisme se produise avec une perte cible pour une période de temps Δt , est donnée par l'équation suivante :

$$P = 1 - e^{-\lambda \cdot \Delta t} \quad (4.9.)$$

A partir des taux de la Figure 4.14., on obtient par an :

F/Pop_{exp} est égale à 0.18, c'est-à-dire que 18% de la population globale exposée à des intensités macrosismiques supérieures ou égales à V a une probabilité de mourir par an par au moins un séisme (Eq.4.9., Figure 4.14a).

J/Pop_{exp} vaut 0.26, c'est-à-dire que 26% de la population globale exposée à des intensités macrosismiques supérieures ou égales à V a une probabilité d'être blessée par an par au moins un séisme (Eq. 4.9., Figure 4.14b).

$L\$/GDP_{exp}$ vaut 0.95, c'est-à-dire que 95% du GDP exposé peut être impacté par au moins un séisme par an (Eq. 4.9., Figure 4.14c).

Avec l'Eq. 4.9. et les Figures 4.14., la Figure 4.15. illustre la probabilité que 50% de la population exposée meurt par au moins un séisme, 100% de la population exposée soit blessée, et 600% du GDP exposé soit perdu sur les 60 prochaines années.

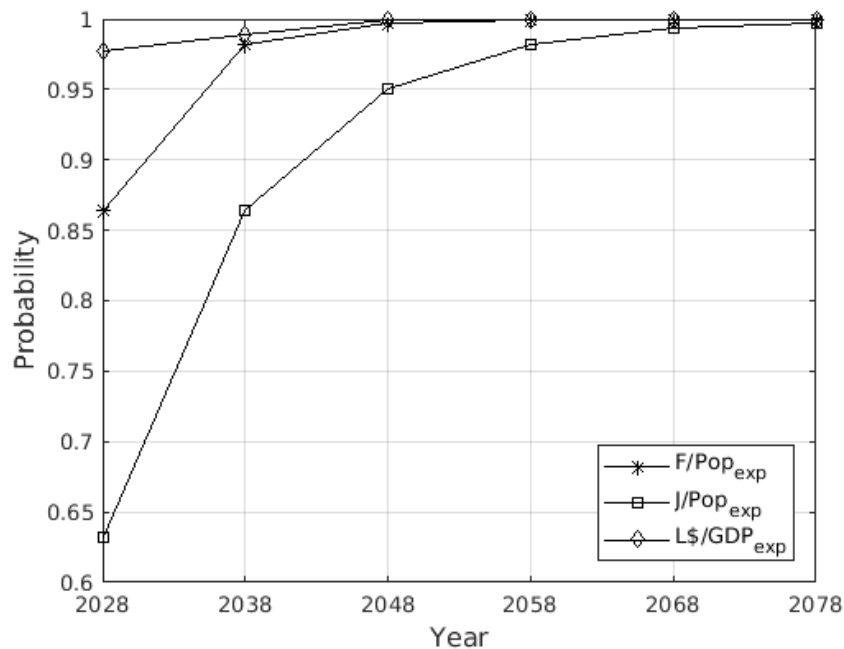


Figure 4.15. Projection de 2028 à 2078 des pertes sociales (F/Pop_{exp}) représentant 50% de la population exposée qui meurt par au moins un séisme, des pertes sociales (J/Pop_{exp}) représentant 100% de la population exposée qui soit blessée par au moins un séisme et des pertes économiques ($L\$/GDP_{exp}$) représentant 600% du GDP exposé aux intensités supérieures à IV.

4.6 Conclusions

Cette étude a fourni une compilation de données relatives à l'exposition et de modèles empiriques pour estimer les conséquences sociales et économiques des séismes mondiaux. Des modèles d'estimation des pertes socio-économiques ont pu être produits en considérant les pertes observées par rapport à la population exposée et au GDP exposé aux intensités macrosismiques supérieures à IV, basés sur des variables liées à l'aléa fournies par les empreintes ShakeMap. Grâce à cette base de données synthétiques, les séismes de magnitude modérée, qui semblent contribuer de façon non négligeable aux pertes globales cumulées et souvent peu documentés dans les bases de données des pertes sismiques, sont complétés, permettant une estimation des taux annuels d'excédance des pertes sismiques.

Au total, 7,515 évènements sismiques ont été collectés pour créer une base de pertes synthétiques associées aux séismes mondiaux depuis 1967, de magnitude entre [5.5 ; 8[, d'intensité macrosismique supérieure à IV et exposant une population. Les séismes les plus forts ($M \geq 7$) et les plus rares contribuent significativement aux pertes économiques (64%), et également aux pertes sociales (44% pour les victimes et 29% pour les blessés). Cependant, la contribution des séismes intermédiaires (magnitude autour de 6) est importante. Comparés aux séismes de magnitude élevée ($M > 7$), ce sont des séismes plus fréquents avec des conséquences modérées mais qui cumulées, représentent une part importante des victimes (56% du total des morts et 71% des blessés) tandis que les plus gros séismes contribuent principalement aux pertes économiques (64% du total des pertes économiques).

Pour calculer les pertes, l'utilisation de variables liées à l'exposition par intensité macrosismique produit des modèles avec une meilleure estimation (moins incertaine). Cela pourrait être encore améliorée si les observations étaient réalisées par intensité macrosismique et plus uniquement de façon globale.

Toutefois, des auteurs ont montré que les pertes socio-économiques sont principalement liées aux dommages sur les bâtiments. Les modèles peuvent aussi être améliorés en prenant en compte des variables informant sur la vulnérabilité sismique des constructions. Ces paramètres d'exposition exigent une analyse approfondie de la zone considérée en termes de vulnérabilité des biens et des personnes.

Enfin, des modèles d'occurrence des pertes économiques et sociales ont pu être produits, permettant une estimation de la probabilité de morts ou de blessés par rapport à la population exposée et des pertes économiques par rapport au GDP exposé. Cette façon de considérer les pertes permet de rendre stationnaire la distribution des séismes produisant des pertes, en supposant une répartition homogène des expositions par intensité et au cours du temps.

Une étude approfondie des incertitudes aurait complété avantageusement cette analyse, mais qui aurait été incomplète tant certains paramètres caractérisant les séismes (entre autres, mécanisme au foyer, chute de contrainte...), la propagation (atténuation régionale en fonction du contexte tectonique), les conditions de site (en intégrant un proxy de site) n'ont pas été considérés pour caractériser l'aléa sous forme d'intensité macrosismique. Des efforts doivent être faits à la fois pour augmenter en nombre les rapports sur les événements, même ceux de magnitude modérée qui ont provoqué des pertes, et les informations décrivant à la fois les paramètres liés à l'aléa, aux conséquences et à l'exposition.

5 Risques naturels et régime de responsabilité des personnes publiques

Afin de donner une vision synthétique du régime juridique de la responsabilité administrative concernant les risques naturels, en particulier sismiques, ce chapitre présente le régime et les conditions d'engagement de la responsabilité publique.

5.1 Introduction

En droit, il est possible d'engager la responsabilité des personnes fautives, de réparer les préjudices causés et de sanctionner les conduites condamnables. Pour ce faire, le droit mobilise des règles de responsabilité pénale et civile (dont le contentieux ressortit au juge judiciaire), et administrative (dont le contentieux ressortit au juge administratif). Ces règles et principes, très complexes, s'adressent tant aux personnes morales (collectivités territoriales, Etat) qu'aux personnes physiques (préfet représentant de l'Etat, maire, scientifiques). Ce chapitre n'a pas pour vocation d'étudier toutes les formes de responsabilités et toutes les conditions d'engagement de la responsabilité : il se bornera à mettre en évidence la spécificité de la responsabilité administrative en matière de risques naturels (pour une vue d'ensemble de la responsabilité des personnes publiques (Paillet, 1997 ; Belrhali, 2017 ; Van Lang, 2018 ; Waline, 2018 ; Morand-Deville et al., 2019)). A cet égard, il s'agit seulement ici d'aborder le rôle que vont jouer le juge administratif et le juge judiciaire pénal. Bien que le juge judiciaire civil puisse être mobilisé (du fait de certaines exceptions législatives à la compétence du juge administratif ou du fait qu'un certain nombre d'activités menées par les personnes publiques relèvent du droit privé, donnant lieu en cas de préjudice à l'application des règles du droit civil par le juge judiciaire), ce cas de figure ne trouve que peu de résonance avec la résolution des problèmes de responsabilité que semblent poser les risques naturels car c'est bien l'action de l'administration agissant dans l'intérêt général qui est souvent mise en cause.

Dans les cas fréquemment rencontrés, la responsabilité administrative est recherchée pour un défaut ou un manquement dans l'exercice du pouvoir de police. Il est possible de saisir le juge administratif pour demander la réparation des préjudices occasionnés par l'action ou l'inaction des personnes publiques.

Ce chapitre est illustré par la jurisprudence. A grands traits, on peut dire que celle-ci est à l'origine de la distinction entre faute de service et faute personnelle, et d'un certain nombre de mécanismes qui permettent de l'assouplir afin de faciliter l'indemnisation des victimes. Il en va de même pour l'établissement du lien de causalité et de l'extension des hypothèses de responsabilité sans faute, également plus favorables aux victimes. La quasi-disparition de la condition d'une faute lourde au profit de la faute simple s'inscrit dans le même mouvement. La responsabilité collective (personne morale) s'accompagne d'une responsabilité individuelle (personne physique). En raison de la pression sociétale et de son évolution, les juges poursuivent dorénavant les responsables à l'intérieur même de l'administration (maire, préfet, voire d'autres agents administratifs, en leur qualité de personne). Par conséquent, la responsabilité est devenue un sujet dont l'appréciation est pluridisciplinaire puisque les juges demandent à différents experts de les éclairer, permettant ainsi un éventuel partage de responsabilités entre les acteurs fautifs ou d'analyser les cas permettant d'atténuer ou d'exonérer la responsabilité de l'administration

Afin de donner une vision synthétique du régime juridique de la responsabilité administrative dans le cadre des risques naturels, en particulier des risques sismiques, ce chapitre s'attachera à rappeler la logique qui guide ce régime de responsabilité et les conditions d'engagement de la responsabilité publique. Sur le plan pratique, afin de bien apprécier les possibilités qu'ont les victimes d'obtenir réparation des préjudices subis, ce chapitre précisera aussi la manière dont les juridictions apprécient les différentes catégories de responsabilités des personnes publiques concernées par le risque naturel.

Cependant, avant d'aborder le régime de responsabilité lui-même, il paraît nécessaire de rappeler le contexte juridico-social dans lequel il est mis en œuvre. En matière de risques naturels, eu égard à la survenance de nombreuses catastrophes ces dernières décennies (ce phénomène étant appelé à se développer sous les effets conjugués de l'étalement urbain, de l'artificialisation des terres et du réchauffement climatique (Joye et al., 2015)), une forte pression est désormais mise sur l'administration par le droit international comme par le droit constitutionnel français afin qu'elle agisse davantage soit en adoptant des mesures destinées à assurer la prévention des risques naturels, soit en adoptant des mesures de protection quand on ne peut éloigner les populations des dangers, sans quoi sa responsabilité sera engagée.

Dans ce chapitre, le droit administratif national et européen est tout d'abord présenté. Puis dans la partie suivante, les conditions d'engagement (c'est-à-dire la logique selon le droit) de la responsabilité administrative est décrite, suivi de l'appréciation des différentes responsabilités de l'administration vis-à-vis des risques naturels. Enfin, pour un panorama complet des responsabilités juridiques pouvant être engagées, la dernière partie de ce chapitre rappellera brièvement la juridiction judiciaire (pénale) pouvant être mobilisée en cas de catastrophe naturelle, même si seule la juridiction administrative sera

considérée dans la suite de ce travail. Enfin, quelques conclusions permettront de faire la transition avec le modèle de prédiction des conséquences juridiques du dernier chapitre.

5.2 Droit administratif national et européen vis-à-vis des risques naturels

Les politiques nationales de prévention et d'urbanisation considérant le problème des risques naturels sont en partie issues du droit international. En particulier, la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales (CESDHLF) a eu des répercussions au niveau national vis-à-vis des risques naturels. Les Etats ont l'obligation de protéger la vie des personnes et leurs biens (CESDHLF, art. 2 et 8 ; Protocole, art. 1) en mettant en place des moyens de protections effectifs et adaptés. En 2004, l'Etat français a adopté la Charte de l'environnement dont trois principes sont majeurs pour la mise en œuvre du droit des risques naturels : le droit de prévention, le droit d'information et le droit de participation.

5.2.1 L'impact de la Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales pour les risques naturels

La Convention européenne de sauvegarde des droits de l'homme et des libertés fondamentales (CESDH) signée en 1950 et ratifiée par la France en 1974, ne dispose d'aucun principe relatif directement aux risques naturels (CEDH, 22 mai 2003, *Kyrtatos c/Grèce*, n° 41666/98). Toutefois, la Cour européenne des droits de l'homme (CEDH) a dégagé une jurisprudence importante en matière de droit de vivre dans un environnement sain qui doit être considéré comme un droit à la « protection » d'un environnement sain, dont l'objectif concerne « la sécurité de l'homme dans son milieu de vie (protection de la qualité et du cadre de vie des populations humaines face aux risques naturels) » (Baumann, 2019).

5.2.1.1 Le développement de la jurisprudence européenne en matière de droit à l'environnement

Force est de constater que la revendication d'un droit à l'environnement à l'encontre d'un Etat n'est fondé sur aucune disposition de la Convention (Cans et al., 2014). Seule la jurisprudence rappelle que la garantie d'un droit à l'environnement se démontre au

travers des atteintes à l'environnement mettant en cause les libertés garanties par la Convention. En effet, selon la Cour, « des atteintes graves à l'environnement peuvent affecter le bien-être d'une personne et la priver de la jouissance de son domicile de manière à nuire à sa vie privée et familiale » (CEDH 9 déc. 1994, Lopez Ostra, n° 16780/90 ; CEDH 10 nov. 2004, Taskin c/Turquie, n° 46771/99). De ce fait, l'élément permettant de définir si des atteintes à l'environnement ont violé une des dispositions de l'article 8 de la Convention est, en plus d'une dégradation générale de l'environnement, l'existence d'un impact défavorable sur la sphère privée d'une personne (CEDH 22 mai 2003, Kyrtatos c/Grèce, n° 41666/02). La Convention est tout de même définie comme « l'instrument de l'ordre public européen pour la protection des êtres humains » (CEDH 23 mars 1995, Loizidou c/Turquie, n° 15318/89).

A la lecture des jurisprudences et des dispositions de la Convention, les articles 2 et 8 et l'article 1^{er} du Protocole n°1 sont rigoureusement liés en imposant des obligations positives d'agir aux Etats pour protéger l'environnement dans toutes ses composantes, à savoir protéger la vie des personnes et leurs biens (CEDH 17 nov. 2015, Özel et autres c/Turquie, n° 14350/05). Les Etats ont un devoir d'action d'intervention dans ce sens. La CEDH, quant à elle, laisse le choix des actions aux Etats dans leur droit national pour la mise en place des mesures, bien que la Cour insiste sur le principe de prévention en exigeant des mesures aptes à atteindre un niveau élevé de protection comme demandé dans le Traité sur le fondement de l'Union Européenne (TFUE) (Vial, 2011 ; Cans et al., 2014). Les Etats ne peuvent se défaire du principe de prévention.

Bien que la Cour examine de nombreuses affaires relatives aux risques au sens large, assez peu d'affaires concernent le respect des droits fondamentaux en lien avec un évènement naturel. Toutefois, la CEDH a développé un raisonnement dans les arrêts de Murillo Saldias et autres en 2006, de Boudaïeva en 2008, de Kolyadenko en 2012 et d'Özel et autres en 2015. Ce sont ces décisions que nous analyserons afin de mettre en lumière certaines dispositions fondamentales de la Convention applicables aux risques naturels.

Affaire Murillo Saldias et autres

Dans l'affaire Murillo Saldias et autres contre Espagne, une menace prévisible pesait sur la vie des usagers situés sur un terrain de camping.

Suite à des pluies diluviennes en 1996, le camping de Biescas, situé dans les Pyrénées espagnoles, a été dévasté « par une inondation renforcée par des travaux de prévention de faible qualité », causant des dizaines de morts et de blessés (CEDH 28 nov. 2006, S. Murillo Saldias et autres c/Espagne, n° 76973/01). La Cour reconnaît le manquement de l'Etat espagnol à son obligation positive d'adopter des mesures préventives appropriées pour protéger la vie des personnes. Bien que la violation des dispositions de la Convention

fût susceptible d'être invoquée (Cans et al., 2014), cet arrêt définit les irrecevabilités d'une requête.

Affaire Boudaïeva

La Cour était saisie du manquement de l'Etat russe à son obligation positive d'adapter des mesures préventives pertinentes pour protéger la vie des habitants de Tirnaouz (CEDH 22 mars 2008, Boudaïeva et autres c. Russie, n°15339/02, 21166/02, 11673/02 et 15343/02).

Suite à des pluies torrentielles en 2000, la ville de Tirnaouz, en Russie, a été dévastée « par des coulées de boues provoquées par la rupture d'un barrage » et causant des dizaines de victimes et des destructions d'habitations. Le barrage avait pour rôle d'empêcher ce genre de risque naturel.

Dans cet arrêt, plusieurs dispositions de la Convention sont combinées comme le montrent les conclusions de la Cour en référence à l'obligation de l'Etat d'informer la population exposée et de mettre en place des mesures de protections et d'évacuation.

Premièrement, en matière d'aménagement du territoire et de gestion des secours d'urgence, l'Etat a le devoir de les instaurer en présence d'une zone à risques. Bien que les Etats doivent établir ces dispositions pour empêcher qu'un risque naturel porte atteinte à la vie, la CESDH dans son article 3 relatif à l'intégrité physique, prescrit à l'Etat d'instaurer des dispositions afin que le risque naturel évite de diminuer l'intégrité physique d'une personne. La mise en place de moyens de protection expertisés et son information auprès de la population sont recommandées comme en témoignent les conclusions de la Cour dans l'affaire Boudaïeva. La Cour prescrit au travers de cet arrêt des directives de ce qu'elle attend comme mesures d'informations exigées à l'Etat. Elle retient, entre autres, un système d'alerte précoce pour estimer « le moment de survenance, la force ou la durée probable » du phénomène naturel, et de pouvoir « alerter à temps les habitants » ; ou par exemple, la transmission et la facilité à l'accès à l'information permettant l'évaluation du danger par les personnes concernées (Cans et al., 2014).

Deuxièmement, la CEDH donne une définition des réparations à accorder en cas de préjudices. La jurisprudence insiste sur l'inacceptation de la négligence des autorités publiques.

Troisièmement, en matière de droit d'accès à la justice et aux recours (art. 6 & 13 de la Convention), le juge devait apprécier cette disposition au regard des caractéristiques identifiées par la Cour dans l'arrêt de Boudaïeva. Les articles de la Convention permettent aux personnes victimes d'un risque naturel en raison d'un manquement des autorités de saisir la juridiction compétente en vue d'une réparation. La première caractéristique concerne le jugement de la légalité des actes ou des manquements des

autorités. La seconde caractéristique traite de l'existence de dispositifs d'investigation officiels et impartiaux.

Affaire Kolyadenko et autres

Dans l'affaire Kolyadenko et autres contre Russie, la CEDH a retenu la responsabilité de l'Etat russe pour infraction aux articles 2 et 8 respectivement relatif au droit à la vie et au droit au respect du domicile et pour violation de l'article 1 du 1^{er} Protocole additionnel, relatif à la protection, la propriété et le droit au respect des biens (CEDH, 28 févr. 2012, Kolyadenko et autres c/Russie, n°17423/05). La CEDH revendique l'obligation d'informer et d'alerter la population ainsi que d'installer des mesures de protection contre le risque connu (Wachsmann, 2015).

Suite à des conditions météorologiques extraordinaires en 2001, la ville de Vladivostok, en Russie, a été ravagée par « une inondation causée par l'ouverture du réservoir afin de déverser une partie importante d'eau dans la rivière provoquant des dommages ». Cette action n'a requis « aucune alerte ni aucune mesure de protection » de la part des autorités municipales. La Cour a reconnu le manquement et la négligence des autorités municipales pour d'une part, l'absence d'information et d'alerte de la population installée en zone inondable, les mettant en danger, et d'autre part, la responsabilité des autorités régionales et municipales pour absence de mise en œuvre de mesures de protection, défaut d'entretien de la rivière et faute dans l'application des restrictions en matière d'urbanisme.

Ainsi, dans cet arrêt et celui de Boudaïeva, l'analyse des articles 2 et 8 est étroitement liée définissant le droit à la vie comme inviolable et le droit à la propriété comme révocable (Cans et al., 2014).

Affaire Özel et autres

Dans l'affaire Özel et autres contre Turquie, la Cour était saisie de la violation de l'article 2 relatif au droit à la vie suivant le volet procédural par l'Etat turque.

Suite au séisme du 17 août 1999, qui fut l'un des plus meurtriers en Turquie, des immeubles de la ville de Cinarcik se sont effondrés sur les habitants causant plusieurs morts et blessés. La Cour s'est prononcée sur l'obligation qui pesait sur l'Etat de mettre en place des mesures de prévention (respect des règles parasismiques) et de conduire une enquête judiciaire afin d'en déterminer les responsabilités.

La Cour montre l'existence du lien de causalité entre les insuffisances administratives et le décès des victimes. D'une part, la Cour soutient que le droit à la vie instauré dans l'article 2 (comportant un volet procédural et un volet matériel) de la CESDH se rapporte aussi à « l'obligation positive pour les Etats de prendre toutes les mesures nécessaires à la protection de la vie des personnes relevant de leur juridiction ». Cet article stipule

l'obligation de protéger la vie de toute personne en évitant de la mettre en danger dû à l'existence d'un risque naturel (Joye et al., 2015). Elle préconise fortement de mettre en place des moyens de prévention face aux risques naturels (CEDH, 17 nov. 2015, Özel et autres c/ Turquie, n°14350/05, 15245/05 et 16051/05). D'autre part, une dernière disposition de la Convention (art. 6 & 13) est rappelée dans cet arrêt relatif à la mise en place d'une enquête judiciaire à la suite du préjudice, par tous les moyens à sa disposition, garantissant le cadre législatif ou administratif d'être mis en pratique déterminant le lien de causalité. De ce fait, la Cour juge que les autorités nationales n'ont pas mené à bien l'enquête officielle et n'ont pas fait preuve de rapidité pour déterminer les responsabilités et les circonstances du préjudice.

5.2.1.2 Une augmentation des programmes internationaux de mitigation

Depuis deux décennies, des conventions internationales pour la prévention des risques naturels ont vu le jour. En réponse aux tsunamis (Indonésie en 2004, 2006 ; Chili en 2010 ; Japon en 2011) et aux séismes très meurtriers depuis ces dernières années (Indonésie en 2004 ; Pakistan en 2005 ; Haïti en 2010), la coopération internationale pour la prévention des catastrophes naturelles a été intensifiée (COPRNM, 2011). Des programmes ont été mis en œuvre par le bureau des Nations-Unies pour la réduction des risques de catastrophes (UNISDR) favorisant le développement d'une stratégie internationale pour la prévention des catastrophes. Les Etats prennent conscience de la priorité de cette stratégie à intégrer dans leurs actions publiques (DGPR, 2007). Alors que les conventions et les accords internationaux se multiplient, ils ont une portée plus globale et transversale intégrant progressivement la réduction des risques.

Dès 2013, l'action s'intensifie dans le monde afin de promouvoir une gestion intégrée du risque, dans une perspective de développement durable. Les Nations Unies ont donné le mot d'ordre ; « La prévention des catastrophes naturelles doit s'inscrire dans une stratégie globale de développement durable » (Nations Unies, 1999b). Pour cela, elle s'appuie sur ses plus grands atouts : une culture au pluriel et des risques abondants. Elle tire de ses avantages une meilleure planification et un aménagement du territoire plus approprié (Assises nationales des risques naturels, 2013).

Le droit des risques naturels en France se situe au carrefour de plusieurs disciplines, comme c'est aussi le cas au niveau international. Le droit relatif à la prévention des risques naturels est lié au droit de l'environnement. Les conventions et accords internationaux sont écrits autour de plusieurs thématiques comme le témoigne le Cadre d'actions de Hyōgo : la coordination internationale de secours en cas de catastrophes, la gestion des risques ou encore la réduction de manière substantielle des pertes socio-économiques subies par les collectivités et les pays à cause des catastrophes (Hyōgo, 2005). Toutefois, bien que la réduction des risques soit considérée sur la scène

internationale, la gestion des risques naturels possède moins de matière dans les programmes internationaux. Les pays ont chacun leur réponse face à un tel risque. Il s'avère indispensable d'intégrer cette gestion dans les prochaines conventions pour que tous les pays puissent converger vers une même unité.

5.2.2 Responsabilité administrative en matière de risques naturels

5.2.2.1 Le droit de l'environnement en tant que source du droit des risques naturels

La Charte de l'environnement est issue de la loi constitutionnelle n°2000-205 du 1er mars 2005. Elle a valeur constitutionnelle². Bien que la Charte de l'environnement ne se réfère pas directement aux risques naturels et à leur prévention, la mise en œuvre des politiques publiques françaises en matière d'information sur les risques naturels est à présent conditionnée par certains principes de la Charte en particulier :

- Le principe de prévention ;
- Le principe de précaution ;
- Le principe d'information ;
- Le principe de participation ;
- Le principe de responsabilité.

En premier lieu, c'est le principe de prévention qu'il faut considérer. La Charte identifie ce principe en imposant de prévenir ou de réduire les atteintes portées à l'environnement par des mesures adaptées en agissant en priorité à la source. Par conséquent, ce principe est soumis à l'action positive du législateur, c'est-à-dire que le législateur a un devoir d'action ou d'intervention.

Dans un second temps, il faut dire un mot du principe de précaution. Bien que figurant en bonne place dans la Charte de l'environnement, le principe de précaution, en raison de son contenu, est en revanche peu considéré dans le domaine des risques naturels (« Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les

² Sur la valeur constitutionnelle de la Charte, v. Conseil constitutionnel, décis. n° 2008-564 DC du 19 juin 2008, Conseil d'Etat, 3 oct. 2008, Commune d'Annecy, n° 297931 : V. Champeil-Desplats, La Charte de l'environnement prend son envol aux deux ailes du Palais-Royal, *Revue juridique de l'environnement*, 2009, n° 2, p. 219-244

autorités publiques veillent, par application du principe de précaution et dans leurs domaines d'attributions, à la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques et à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin de parer à la réalisation du dommage », art.5 de la Charte de l'environnement). En effet, tandis que le principe de prévention ne s'applique exclusivement qu'aux risques avérés, le principe de précaution vise l'incertitude scientifique. Cette incertitude se rapporte, non sur l'hypothèse de sa survenance, mais sur la nature intrinsèque du risque. Par conséquent, bien que la survenance d'une inondation ou d'un séisme ne soit pas connue, son mécanisme et ses effets le sont. L'incertitude scientifique dans ces cas ne peut être opposée. Ce principe impose toutefois l'adoption de mesures urgentes et proportionnées aux dommages envisagés, bien que le risque encouru soit éventuel. Le principe de précaution trouve alors son intérêt en matière de risques naturels. Même si le risque naturel est par définition incertain, puisqu'il est par nature imprévisible, le principe de précaution ne peut être opposable qu'aux changements climatiques, pour lesquels le débat scientifique continue (Cans et al., 2014). Il s'agit de l'invoquer en matière d'urbanisme sur la base de l'article 5 de la Charte.

Enfin le principe d'information et le principe de participation du public sont majeurs en matière de droit des risques naturels. Même si la loi n°2012-1460 du 27 décembre 2012 les a différenciés, ces deux principes restent en lien étroit. Selon l'article 7 de la Charte de l'environnement, « toute personne a le droit, [...], d'accéder aux informations relatives à l'environnement détenues par les autorités publiques et de participer à l'élaboration des décisions publiques ayant une incidence sur l'environnement ».

Le domaine des risques naturels peut également faire appel à un quatrième principe : le principe de responsabilité inclus dans l'article 4 de la Charte. Ce principe permet d'engager la responsabilité de toute personne, (physique ou morale, privée ou publique) sur la base des atteintes portées à l'environnement. Ce principe identifie la participation à la réparation des préjudices causés comme étant un devoir.

Les principes de la Charte de l'environnement se déclinent dans les fondements de la politique nationale de prévention des risques naturels.

5.2.2.2 Renforcement de la responsabilité administrative et politique nationale de prévention des risques naturels

La politique de prévention des risques naturels se définit au niveau national, bien qu'applicable au niveau territorial par les collectivités. Cette politique est fondée sur un socle commun faisant écho aux priorités du Cadre d'actions de Sendai (UNISDR, 2015). L'objectif premier de la politique française de prévention des risques naturels porte sur la réduction des conséquences des préjudices potentiels issus d'un agent naturel. Cette politique vise à mettre en place des mesures de protection et de prévention en s'appuyant

sur les sept fondements du Plan de submersions rapides (MEDDTL, 2011a) que l'on peut décliner pour les autres risques naturels :

- Premier fondement : connaissances des aléas et des enjeux ;
- Deuxième fondement : surveillance, prévision, vigilance et alertes ;
- Troisième fondement : éducation et information préventive aux citoyens ;
- Quatrième fondement : maîtrise de l'urbanisation et adaptation du bâti par la réglementation
- Cinquième fondement : réduction de la vulnérabilité ;
- Sixième fondement : réalisation de dispositifs de protection ;
- Septième fondement : préparation aux situations critiques.

5.3 Logique de l'engagement de la responsabilité administrative

La responsabilité administrative définit « l'obligation qui appartient à l'administration de compenser les préjudices provoqués à autrui par son action ou son inaction sous certaines conditions » (Van Lang, 2018). Eisenmann (1983) caractérise la responsabilité des personnes publiques comme réparatrice. En matière de responsabilité administrative, le préjudice désigne l'importance de la réparation financière à assurer, à la différence de la responsabilité pénale où la gravité de l'infraction commise établit la mesure de la sanction. Cette obligation ne s'est généralisée que progressivement et est considérée comme une étape importante en droit administratif. A présent, l'administration en plus de devoir respecter la légalité, doit aussi compenser les dommages qu'elle occasionne. Les partie-prenantes sur lesquelles pèse l'obligation de réparation peuvent soit relever de personnes physiques à l'origine du dommage (élus, agents publics, fonctionnaires) soit relever de personnes morales de droit public (Etat, collectivités territoriales, établissements publics). Les règles relatives à l'attribution du dommage à une personne et à sa mise en cause seront aussi examinées dans cette section.

5.3.1 Prémisses du régime de la responsabilité administrative

Pendant longtemps, les personnes morales de droit public et l'Etat ont bénéficié d'un « principe d'irresponsabilité absolue » (Van Lang, 2018). C'est à partir de 1873 que le régime de responsabilité administrative se démocratise. Deux arrêts fondamentaux

rendus par le Tribunal des conflits constituent les fondements du régime de la responsabilité administrative

L'arrêt Blanco est le premier arrêt à l'origine de la création de la responsabilité administrative (T. confl., 8 févr. 1873, rec. CE 1873, p. 61). Dans cet arrêt, la responsabilité publique n'est « ni générale ni absolue », mais « se modifie suivant la nature et les nécessités de chaque service ». Le principe émanant de cet arrêt fonde le droit de la responsabilité administrative particulier qui tend à s'individualiser. A l'opposé du droit privé de la responsabilité qui prévaut un droit commun de la responsabilité, le droit administratif considère un droit individuel de la responsabilité. Dans cet arrêt, « la faute ou la négligence supportée par Mme Blanco n'est pas attribuable à l'Etat en tant que personne civile, mais à l'Etat agissant dans la gestion des services publics en tant que puissance publique ». De ce fait, les conclusions de cet arrêt pointent l'incompétence des juridictions ordinaires à juger un acte de l'administration ou les dommages qui peuvent résulter de ces opérations (Van Lang, 2018). Seule la juridiction administrative est compétente. Désormais, l'Etat peut voir sa responsabilité engagée « pour le fait des personnes qu'il emploie dans les services publics ». En d'autres termes, la faute peut être imputée à l'Etat pour des dommages provoqués dans la gestion des services publics. L'arrêt Blanco est à l'origine de la création de « la responsabilité extra-contractuelle des personnes publiques » fondée sur l'existence de faute ou l'absence de faute (Van Lang, 2018).

L'arrêt Pelletier questionne aussi l'attribution des compétences entre les deux ordres de juridictions en reconnaissant le principe de séparation des autorités administratives et judiciaires (T.C., 30 juil. 1873, Rec. P. 117, concl. David). Les conclusions de cet arrêt définissent les caractéristiques du principe de séparation en se reposant sur l'acte administratif. Dans cet arrêt, aucun « fait personnel de nature à engager leur responsabilité particulière » n'est imputé aux représentants, et de ce fait, seule la juridiction administrative est compétente pour réparer ce préjudice. Ce principe rejoint l'article 75 de la constitution de l'an VII en évoquant que « seuls les faits personnels, dès lors qu'ils sont détachables de l'acte administratif, sont en mesure d'engager la responsabilité pénale ou civile des agents administratifs dans la juridiction judiciaire ». Cet arrêt est donc à l'origine de la différence entre faute de service et faute personnelle de l'agent administratif, résumant la coexistence de deux juridictions en matière de régime de responsabilité.

5.3.2 La répartition des compétences juridictionnelles en termes de responsabilité administrative

Avant les arrêts Blanco et Pelletier, les tribunaux judiciaires avaient eu le privilège de dominer les contentieux de la responsabilité. C'est à la suite de ces deux arrêts, que le contentieux de la responsabilité se répartit entre la juridiction judiciaire et la juridiction administrative. La compétence administrative en termes de responsabilité va être renforcée par la décision du Conseil constitutionnel du 23 janvier 1987 (Cons. const., 23 janv. 1987, n° 86-224 DC, GAJA). Les conclusions du Conseil constitutionnel consolident le principe de valeur constitutionnelle. Ce principe destine au juge administratif de façon exclusive la connaissance des actions en réformation et en annulation des actes de l'administration.

La détermination de la juridiction compétente en matière de réparation des dommages provoqués par une action administrative est fondée en 1790. L'article 13 du Titre 2 de la loi des 16-24 août 1790 sur l'organisation judiciaire informe que « les fonctions judiciaires sont distinctes et demeureront toujours séparées des fonctions administratives. Les juges ne pourront, à peine de forfaiture, troubler de quelque manière que ce soit, les opérations des corps administratifs, ni citer devant eux les administrateurs pour raison de leurs fonctions ». Ces critères posent une frontière dans le monopole du contentieux de la responsabilité administrative. Ils permettent de distinguer un principe général de distribution de compétence à la juridiction administrative. L'existence d'un acte administratif attribue aux autorités administratives le privilège exclusif d'apprécier la régularité de l'acte et d'en fixer la réparation. Toutefois, les tribunaux judiciaires conservent le devoir d'appliquer les actes administratifs et de réprimander en cas de violation (Van Lang, 2018). Finalement, le juge administratif obtient la compétence constitutionnelle. La décision du Conseil constitutionnel du 23 janvier 1987 (Cons. const., 23 janv. 1987, no 86-224 DC, GAJA) indique les caractéristiques de ce domaine. Le secteur constitutionnel est question du contentieux de l'annulation et de réformation, de l'interprétation et de l'appréciation de légalité.

5.3.3 Les conditions d'engagement de la responsabilité administrative

Les conditions d'engagement de la responsabilité administrative sont identiques à celles de la responsabilité civile. Elles se définissent au travers du fait générateur, du préjudice et du lien de causalité entre les deux. Les décisions juridictionnelles relèvent des circonstances de fait et de lieu de l'évènement. Il conviendra au juge d'apprécier le lien de causalité et la définition du risque « certain ».

Plusieurs circonstances doivent être combinées afin d'engager la responsabilité administrative. Ces conditions, communes en droit administratif et en droit privé, construisent le schéma de la responsabilité administrative (Figure 5.1.) (Van Lang, 2018).

La mise en accusation ou l'attribution d'une faute à quelqu'un est une clause restrictive du processus de responsabilité. A cela, trois conditions s'additionnent : le fait générateur, le dommage et le lien de causalité. La mise en accusation se définit comme l'action qui consiste à imputer à « une personne de droit l'obligation de répondre de ses actes et de leurs conséquences ou de ceux d'un tiers auquel il s'est substitué » (Van Lang, 2018). L'attribution de la faute a donc pour objectif de déterminer le responsable. Le lien d'imputation émane d'une construction du juge.

Le raisonnement du juge autour du fait générateur et du dommage permet d'établir l'existence ou l'absence du lien de causalité. Son analyse permet d'énoncer ce qui est juridiquement la cause du dommage. Ce n'est qu'à partir de la constatation de l'existence d'un lien de causalité instauré entre le dommage et le fait générateur que le juge va pouvoir rechercher une quelconque mise en accusation. Finalement, comme le soulignent Cans et al., (2014), Joye et al., (2015) et Van Lan (2018), l'imputation du fait générateur de dommage au responsable définit clairement un régime de responsabilité. Cette partie portera sur deux conditions à savoir le préjudice et le lien de causalité, car le fait générateur sera examiné dans la section suivante à travers les compétences des juridictions en matière de responsabilité administrative vis-à-vis du risque naturel.

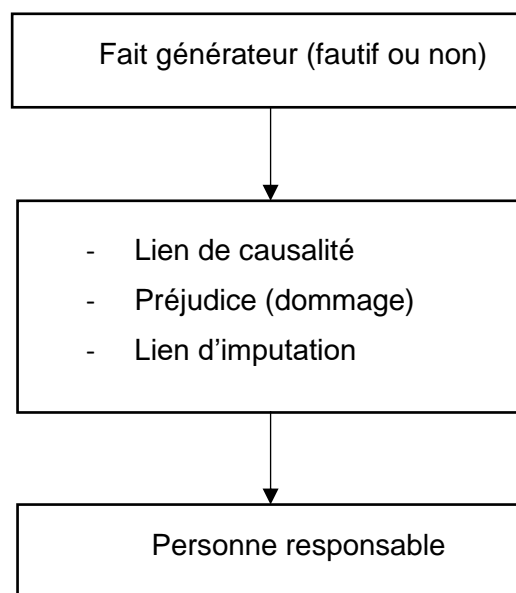


Figure 5.1. Schéma de la responsabilité administrative d'après Van Lang (2018)

5.3.3.1 Le préjudice

5.3.3.1.1 Les caractéristiques du préjudice

L'existence d'un préjudice est la première condition de l'engagement de la responsabilité administrative et civile (Cans et al., 2004). L'analyse du préjudice a pour but de discerner la responsabilité administrative des autres responsabilités suivant la gravité des fautes ou des infractions commises. Toutefois en droit pénal, la condition de l'existence du préjudice n'est pas indispensable puisque le juge statue sur l'infraction.

Selon Van Lang (2018), bien qu'étroitement liés selon Montier (2003), le dommage et le préjudice sont distinguables l'un de l'autre. Le dommage est un fait, observable quantifiable de façon objective comme par exemple les pertes, la destruction ou tout tort aux personnes ou aux biens (Benoit, 1957). Toutefois, le dommage sert au préjudice, puisque seul ce dernier a une valeur juridique. En d'autres termes, les conséquences d'un dommage supporté par une victime sont incluses dans le préjudice. Le préjudice, alors de nature juridique, peut être évalué et a un droit de réparation. Le préjudice doit être qualifié juridiquement afin d'être identifié par le juge. Pour qu'il soit reconnu comme préjudice, il faut que les conséquences du dommage créent un tort pour la victime. En l'absence de ce tort, le dommage ne détermine pas forcément un préjudice. En outre, tout préjudice supporté par la victime n'est pas en mesure de donner lieu à réparation, certaines caractéristiques devant être remplies pour engager la responsabilité.

Le préjudice doit être direct, c'est-à-dire résulter du fait générateur. Il doit également être certain. Le préjudice ne peut être éventuel, mais la probabilité de sa réalisation dans un futur doit être avérée (Lan Vang, 2018). Ces deux premiers critères sont généralement combinés lors de l'appréciation du juge (CAA Lyon, 17 oct. 1990, M. et Mme Y... X..., n°89LY00768). Finalement, le préjudice va être circonscrit aux personnes directement touchées par le dommage, c'est la revendication du dernier critère du préjudice, le caractère personnel. Il est noté que l'appréciation du préjudice du juge administratif évolue de manière à s'adapter aux évolutions sociales. Aux travers de ces évolutions sociales, le Conseil d'Etat retient le principe d'une « appréciation globale du préjudice » (CE, S. Avis du 4 juin 2007, Lagier et cts Guignon, n°303422, Rec. 228).

Cependant, le préjudice ne peut être classé dans une seule catégorie. Le préjudice peut être qualifié comme matériel ou immatériel. Selon Van Lang (2018), il peut être différencié en fonction de sa nature, de sa durée (préjudices temporaires ou permanents) et de la victime (victime directe et victime par ricochet). Les chefs de préjudice se décomposent selon trois types suivant les régimes de responsabilité (Belrhali, 2017). D'une part, les chefs de préjudice patrimoniaux définissent les dommages atteignant les biens ou le corps et ayant des retombées pécuniaires (Van Lang, 2018). D'autre part, les chefs de préjudice personnels réunissent « l'ensemble des préjudices immatériels de nature

subjective » (Van Lang, 2018). Enfin, le dommage peut être anormal et spécial, ce qui est le cas en matière de risques naturels. Ces conditions concernent le régime de responsabilité fondé sur la rupture d'égalité devant les charges publiques. Pour pouvoir engager cette responsabilité, il faut que le préjudice touche spécialement la victime, ou un petit nombre de victimes. L'anormalité s'attache donc à la gravité du dommage (Belrhali, 2017).

5.3.3.1.2 La réparation du préjudice

En droit administratif comme en droit privé, le préjudice doit être réparé totalement, c'est-à-dire l'intégralité du préjudice, de manière financière. Le préjudice est alors évalué selon un protocole strict. La réparation du préjudice prend en compte les périodes d'inflation en fixant la réparation à la date de la réalisation du dommage. L'évaluation du préjudice advient à cette date, différente selon que le dommage soit causé aux personnes ou aux biens (Lan Vang, 2018). Concernant les personnes, la date du dommage est considérée au moment où l'autorité compétente ordonne la fixation de l'indemnité (CE Ass., 21 mars 1947, Dame vve Aubry, Rec. p. 122). Vis-à-vis des biens, la date est estimée à la date où la cause du dommage est arrêtée et les répercussions sont appréciées (CE Ass., 21 mars 1947, Dame vve Pascal, Rec. 122).

En matière de risques naturels, le juge et les assureurs, représentant les acteurs du jugement en matière d'indemnisation, s'appuient sur les lois de 1982 (Loi du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des catastrophes naturelles) et de 2003 (Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003, relative à la réparation des dommages). La loi de 1982 modifiée a pour but l'indemnisation des biens assurés suite à un événement naturel par un mécanisme faisant appel à une solidarité nationale. Lacroix (2008) souligne la nature collective du fait générateur. Le régime d'indemnisation est encadré par le Code des assurances et doit répondre à trois critères mentionnés dans l'alinéa de l'article L.125-1 du même code. L'indemnisation est alors possible lorsque le préjudice est certain et le lien de causalité entre le dommage matériel subi et l'intensité anormale de l'événement naturel est mis en évidence (CAA de Toulouse, 29 avril 2004, Axa France, n°02-20320 ; CAA d'Agen, 14 juin 2007, Mme X., n°06-15319).

5.3.3.2 Le lien de causalité

L'existence d'un lien de causalité est la seconde condition à toute responsabilité. Dans la juridiction administrative, l'établissement du lien de causalité direct entre le dommage et le fait n'est pas évident. La responsabilité administrative, dans les deux régimes pour faute et sans faute, ne peut être engagée que si la victime établit un lien de causalité entre le fait à l'origine du dommage et le dommage pour lequel il est demandé réparation

(Cans et al., 2014). Belrhali (2017) le souligne en montrant que le juge évalue les éléments définissant la cause directe du dommage dans les faits précédents le dommage subi. Le juge administratif argumente le lien de causalité en utilisant la théorie dite « de la causalité adéquate ». Cette théorie suppose que la causalité du préjudice est conférée à l'auteur des faits à l'origine du préjudice (Van Lang, 2018).

5.3.3.3 L'atténuation de la responsabilité de l'administration

La responsabilité administrative ne peut être retenue à cause de l'intervention d'une cause qui lui est étrangère. Quatre causes exonératoires en droit de la responsabilité administrative sont répertoriées. L'impact de ces causes exonératoires diffère selon le régime de responsabilité.

5.3.3.3.1 La faute de la victime

Le juge administratif soumet la victime à un devoir minimum de prudence, de vigilance et de bon sens, dans la limite de ce qui peut être exigé de lui, de la même manière qu'il l'exige de l'administration (CE, 27 juillet 1979, *Sieur Blanc c/ Ministre de l'Équipement*, n°06-875). Le comportement jugé fautif de la victime conduit à une atténuation ou à une exonération de la responsabilité de l'administration, en proportion à sa contribution du dommage (Van Lang, 2018).

Par exemple, le Conseil d'État a jugé que lorsque la responsabilité de la commune est recherchée par la victime au titre de sa mission de prévention des inondations, la commune ne peut pas invoquer la faute de l'État au titre du service d'annonce des crues pour tenter de s'exonérer (CE, 22 juin 1987, *Ville de Rennes c/ Compagnie rennaise de linoléum et du caoutchouc*, n°62-559, REC. CE, p. 223.). L'État peut lui aussi voir sa responsabilité engagée si la Cour administrative justifie qu'une faute a été commise. C'est le cas dans l'arrêt du 8 juillet 1997 où le requérant, une société de construction, demande de reconnaître la responsabilité de l'État incarné par le préfet en ayant donné une autorisation de lotir sur un terrain en présence de faille et de cavité (CAA de Lyon, 8 juil. 1997, n°094LY01260, *Société Valente et La Selva c/ État*.). Le juge atténue la responsabilité de l'État en considérant que la victime « ne pouvait ignorer les risques entraînés par l'existence de cette faille et de ces cavités naturelles et a commis une très grave imprudence en entreprenant, sans avoir procédé à des investigations géologiques et des vérifications approfondies, précisément dans la recherche de cavités naturelles sous l'emprise du projet, l'aménagement du terrain et la commercialisation des lots ». A la victime, il sera reproché de ne pas avoir pris toutes les précautions suffisantes au moment de la construction (CAA, 8 févr. 1996, *Cne de Fourques*, n°95BX00049 à propos de la

réalisation de la construction à proximité d'une zone touchée par une inondation) (Joye et al., 2015).

La méconnaissance est un obstacle à la responsabilité face aux catastrophes naturelles comme le confirme Mayaud (2013). Il convient de reconnaître la complexité de reprocher ce qui est ignoré. Cette cause d'atténuation est appliquée face à une négligence, imprudence ou manquement à la réglementation. Comme le mot l'indique, ce n'est qu'une atténuation et, de ce fait, le juge ne déresponsabilise pas le requérant aux vues de son défaut de connaissance. Cette cause est induite au requérant selon son statut, c'est-à-dire que s'il relève d'une mission à risque, alors il se doit de connaître l'étendu du danger et veiller aux conséquences. Toutefois, si des informations relatives aux risques naturels encourus sont connues et que la véracité de celles-ci fait défaut, c'est-à-dire si le juge a un doute, alors ce dernier écarte la responsabilité de l'Administration (CAA de Bordeaux, 27 déc. 1993, Epoux Goutereau, Epoux Pauzes et Dame Olive c/ Etat et Cne de Porte-Puymorens, n°91BX00685). Finalement, cette cause d'exonération relative à la faute de la victime est appréciée autant selon un régime de responsabilité sans faute que pour faute.

5.3.3.3.2 Le fait du tiers

Cette cause d'exonération partielle ou totale de la responsabilité administrative seulement pour faute considère l'intervention d'un tiers auteur du préjudice. Van Lang (2018) soulève le risque d'insolvabilité dû à l'existence d'un tiers auteur. En effet, le droit administratif proscrit la responsabilité in solidum à la différence du droit privé qui met en œuvre un système de solidarité entre les co-auteurs afin de réparer le préjudice subi par la victime auprès d'un auteur solvable. En revanche, en droit administratif, les conclusions du Conseil d'Etat amènent le juge administratif à appliquer la réparation du dommage proportionnellement à la faute commise par la collectivité publique reconnue comme responsable et à exclure une condamnation solidaire (CE S., 11 mai 1951, Dame Pierret, Rec. p. 259 ; CE, 29 février 1952, Delle Servel, Rec. p. 147). Toutefois, des exceptions existent. Belrhali (2003) montre qu'en présence de plusieurs co-auteurs (tiers et administration) à l'origine de plusieurs fautes, la victime peut obtenir réparation pour le tout auprès de l'administration, sans que celle-ci soit exonérée du fait de l'existence d'un tiers. L'administration pourra par la suite se retourner contre le tiers pour qu'il lui rembourse sa part du dommage (Belrhali, 2003).

En matière de risques naturels, la jurisprudence atteste l'hypothèse du fait du tiers lorsque les autorités exercent des compétences conjointes, par exemple lors de mises en place de moyens de prévention, relevant de nombreuses personnes publiques (Cans et al., 2014) ou lors de délivrance d'autorisation d'urbanisme entre autorité d'urbanisme,

autorité d'adoption des décisions réglementaires d'urbanisme et autorité de la police administrative (Priest, 2005 ; Joye et al., 2015).

Le cas de la commune de Houillère du bassin des Cévennes, relatif à un éboulement sur une route nationale fournit une bonne illustration de ce partage de responsabilités. Le rocher provoquant le dommage était issu d'un fonds appartenant aux Houillère du bassin des Cévennes. Les services étatiques des Ponts et Chaussées avaient comme devoir de mettre en place des moyens de prévention tels que des murs de soutènement. Bien que la responsabilité de cette commune soit engagée par le juge judiciaire, le juge administratif engage la responsabilité de l'Etat pour moitié en raison d'une faute commise pour insuffisance d'entretien des moyens de protection par les services de l'Etat (CE 23 nov. 1966, Houillère du bassin des Cévennes, n°65400, Rec., p.621).

La décision judiciaire de la Cour administrative de Lyon du 15 juin 2004, Commune des Allues, relative à la destruction de bâtiments par une avalanche, renforce cette possibilité d'atténuation de responsabilité au travers du partage de responsabilité entre toutes les autorités publiques de la prévention des risques (CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879). L'imputation de la responsabilité est complexe en raison de l'imbrication des compétences des différentes autorités publiques. La responsabilité communale concerne le pouvoir de police spéciale de l'urbanisme et le pouvoir de police général de l'ordre public. La responsabilité de la commune est reconnue pour 70% d'une part, due à une défaillance dans la délivrance de permis sans prescriptions spéciales dans une zone soumise au risque d'avalanche, et d'autre part, pour l'absence d'usage des pouvoirs de police du maire (art. L. 2212-2 du CGCT). La responsabilité de l'Etat est pareillement retenue considérant l'approbation de la ZAC (Priest, 2005).

5.3.3.3 La force majeure

Cause exonératoire ordinaire, la force majeure s'identifie comme « un phénomène exceptionnel perturbant totalement les conditions normales d'existence » (Derozier, 1996). Selon les articles 1231-1 et 1351 du Code civil, trois conditions doivent être réunies pour retenir le cas de force majeure : l'extériorité par rapport à l'administration, l'imprévisibilité dans sa survenance et l'irrésistibilité de ses effets (Van Lang, 2018). Cette cause a pour effet de rompre le lien de causalité entre le préjudice subi et la faute commise. De ce fait, elle est exonératoire de responsabilité de l'administration, tant dans les régimes de responsabilité pour faute que sans faute.

En matière de risques naturels, les décisions du juge administratif peuvent retenir le cas de force majeure. Les événements naturels doivent alors avoir deux caractéristiques : être totalement imprévus et caractérisés par une violence exceptionnelle.

Des inondations causées par des pluies font appel à un cas de force majeure « en raison de leur violence et de leur intensité exceptionnelles et imprévisibles » (CE, 25 mai

1990, Abadie, Rec. p. 1026). Un autre cas constitue le cas de force majeure provoqué par une tempête marine et des événements pluviométriques les plus importants des deux derniers siècles. La conjonction exceptionnelle de ces événements naturels a empêché le déversement des eaux du Rhône. Le Conseil d'Etat apprécie le cas de force majeure, exonérant la responsabilité du fait de l'ouvrage public (CE, 15 novembre 2017, Sté Swisslife Assurances de biens et a., n° 403367).

Toutefois, le caractère d'imprévisibilité rend difficile l'appréciation du juge à qualifier l'événement naturel comme force majeure. De ce fait, en matière de risques naturels, la force majeure appartient à la notion d'imputabilité, c'est-à-dire qu'elle prive de liberté la société. Par conséquent, la force majeure, ou contrainte physique dans le domaine du droit pénal doit résulter d'un « événement indépendant de la volonté humaine et que celle-ci n'a pu ni prévoir ni conjurer » (Cass. crim, 20 mai 1949, Bull. crim. n°184 ; D. 1949, p. 333 (1re espèce) ; Cass. crim, 10 février 1960, Bull. crim., n° 79 ; Cass. crim, 12 décembre 1962, Bull. crim., n° 371 ; Cass. crim, 8 juillet 1971, Bull. crim., n° 222 ; D. 1971, p. 625, note Robert E. ; Cass. crim, 8 mai 1974, Bull. crim., n° 165 ; Gaz. Pal. 1974. 2. 560 ; Cass. crim., 11 octobre 1993, n° 92-86.131, Bull. crim., n° 282 ; Rev. sc. crim. 1994, p. 321, obs. Bouloc.).

La jurisprudence administrative, quant à elle, ne qualifie pas un événement comme force majeure à partir du moment où il s'est déjà produit, pouvant alors exister dans la mémoire des personnes (Cans et al., 2016).

La force majeure est assez peu reconnue au contentieux comme motif d'exonération de la responsabilité (Joye et al., 2015). Elle est parfois admise par le juge administratif mais pas par la Cour administrative d'appel. Par exemple, lors de la crue torrentielle de juillet 1987, la Cour a répondu par la négative et rejette le pourvoi des requérants en écartant le cas de force majeure compte tenu de l'existence de plusieurs précédents historiques (CAA de Lyon, 13 mai 1997, Sieur Balusson et autres, n°94LY00923/94LY01204). Le cas de l'avalanche de la commune des Allues renforce ce constat en refusant de la qualifier comme un cas de force majeure, tout en admettant qu'il s'agit d'un phénomène particulièrement difficile à prévoir avec exactitude (CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues).

Suite à ces jurisprudences, Derozier (1996) souligne que l'événement naturel est requalifié comme force majeure lorsque l'ordre du retour à la normale est d'au moins cent ans. Ces propos permettent de comprendre pourquoi la jurisprudence sur la force majeure d'un risque naturel est quasi-inexistante. De ce fait, si le phénomène pouvait être anticipé, la qualification en force majeure ne serait plus de vigueur et la causalité resterait opérationnelle, ce qui suffit à fonder la responsabilité de l'auteur (Mayaud, 2013). En d'autres termes, les juges maintiennent une certaine pression sur les administrations et donc les autorités publiques afin que celles-ci continuent leur devoir de prévision et de prévention des risques naturels en tenant comptes des avis scientifiques.

5.3.3.3.4 Le cas fortuit

Le cas fortuit est un fondement ayant pour caractéristiques l'imprévisibilité et l'irrésistibilité. L'absence du caractère d'extériorité, qui suppose que l'auteur du préjudice ne prend pas part à la survenance de l'évènement qui dépend d'une cause extérieure, le discerne du cas de force majeure. Bien que peu connu de l'administration, la nature même du cas fortuit permet d'exonérer l'administration en matière de responsabilité pour faute (Van Lang, 2018). Par exemple, la non prise en compte du caractère d'extériorité permet au juge de rejeter le cas de force majeure à propos de la rupture du barrage de Malpasset. Cette rupture est provoquée par « l'expulsion de la roche à l'aval de l'ouvrage sous la pression de l'eau », ce qui écarte le critère d'extériorité nécessaire à la définition du cas de force majeure (CE A., 28 mai 1971, Département du Var c/ Ent. Bec frères, Rec. p. 419). Dans ce cas, aucune faute ni défaut d'entretien de l'ouvrage n'est retenue. Le juge conclut donc à la cause inconnue, définissant le cas fortuit. De ce fait, l'indemnisation du préjudice est réalisée sous le régime de responsabilité sans faute.

5.3.4 Les différents acteurs publics concernés

Sur un territoire, les acteurs administratifs pouvant engager leur responsabilité en matière de risques naturels sont le plus souvent les communes ou les établissements publics de coopération intercommunale, les départements, voire les régions. Les experts scientifiques et les acteurs de la gestion des risques (élus et agents de l'état) sont les acteurs les plus scrutés. Tous les acteurs s'impliquent en matière de risques naturels, et il s'agira d'apprécier leurs compétences respectives en fonction du droit administratif. En fin de compte, ce sont tour à tour soit des actes de personnes morales soit des actes de personnes physiques agissant dans la sphère administrative qui sont en jeu. De leur nature va dépendre ou non la responsabilité de l'administration. La responsabilité administrative peut résulter de plusieurs situations : actes personnels d'agents, actes collectifs (délibérations). Un seul et même fait peut revêtir le caractère d'une faute de service (engageant alors la responsabilité de l'administration) et le caractère d'une faute personnelle (engageant la responsabilité de l'agent, personnelle et pénale de ce dernier) ce que nous verrons ci-après. Il existe une certaine porosité entre ces acteurs et leurs actes ou comportements ce qui rend vague la notion de responsabilité administrative qui exige qu'on l'engage seulement « in concreto » et qu'elle soit propre à chaque cas ou évènement qui survient.

5.3.4.1 L'Etat

La responsabilité administrative est d'abord celle de l'Etat. En matière de prévention des risques naturels, la politique nationale de prévention des risques naturels et la politique d'indemnisation sont étroitement liées (Cans et al., 2014) comme le rappelle la circulaire du 24 novembre 2000 relative aux arrêtés du 5 septembre 2000, renforçant le lien entre l'indemnisation des dommages résultant des catastrophes naturelles et les mesures de prévention de ces risques. Ces politiques d'indemnisation et de réparation doivent être communes à toute personne exposée à un risque dommageable. En outre, la politique nationale de prévention et celle de sécurité civile sont associées comme le rappellent la première loi de 1987 et son actualisation avec la loi du 13 août 2004 sur la modernisation de la sécurité civile. Par conséquent, le territoire national est la zone priorisée pour toute décision relative à la prévention des risques (Cans et al., 2014).

Le rôle majeur de prévention des risques naturels incombe donc à l'Etat. Toutefois, l'engagement de la responsabilité de l'Etat et de ses services n'est pas si évident. Suite à l'étude du cas de Xynthia (TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014), Cans et al. (2015 ; 2016) définissent les solutions pour retenir la responsabilité étatique. Elle se trouve soit dans un contrôle de légalité obligatoire après chaque identification d'un risque majeur, soit dans la recentralisation des compétences d'urbanisme (Cans et al., 2015 ; 2016). Seulement, la prévention des risques dépend de la mise en place de politiques issues du droit de l'urbanisme. Bien que compétence appartenant à l'Etat, la décentralisation l'en démunie.

Le niveau étatique se retrouve aussi dans les échelons de l'Etat déconcentrés. Les échelons déconcentrés de l'État français sont « les services qui assurent le relais, sur le plan local, des décisions prises par l'administration centrale et qui gèrent les services de l'État au niveau local » (loi du 6 févr. 1992), comme le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), service interrégional, ou la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), service régional. Ainsi les préfets, assujettis hiérarchiquement à l'Etat français, ont en charge certaines fonctions de gestion et certains pouvoirs décisionnels. Par exemple, l'établissement du dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) appartient à la compétence de la personne représentante de l'Etat. Il est établi dans le cadre départemental sous la responsabilité du préfet. Sous sa responsabilité, des outils réglementaires sont à disposition pour mettre en œuvre les mesures de prévention des risques naturels. A l'échelle départementale, une analyse du risque peut être effectuée à travers, par exemple, la réalisation de cartes d'aléas et l'élaboration du zonage réglementaire du plan de prévention des risques. Concernant les

échelons déconcentrés, c'est toujours l'Etat qui prend les décisions, mais celles-ci sont prises localement.

5.3.4.2 Le niveau décentralisé

En matière de risques naturels, la loi répartit les compétences entre différents niveaux de collectivités locales. Parmi les textes promulgués récemment, la loi du 27 janvier 2014 relative à la modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles, dite loi « MAPTAM », a réajusté le partage des compétences de la puissance publique entre les collectivités territoriales et l'Etat.

Le conseil départemental ne possède pas de compétences directes en matière de risques naturels, à l'exception de la prévention des risques d'inondation dans sa politique départementale des espaces naturels sensibles (Cans et al., 2014) Toutefois, le service départemental d'incendie et de secours (SDIS), établissement public administratif à compétence départementale (CGCT, art. L. 1421-1 et s.), s'est vu transféré une disposition de l'article L. 1424-2 du CGCT. Selon le deuxième alinéa de cet article, les SDIS « concourent, [...], à la protection et à la lutte contre les [...] catastrophes, à l'évaluation et à la prévention des risques technologiques ou naturels ainsi qu'aux secours d'urgence ».

5.3.4.3 La commune

5.3.4.3.1 Les mesures relatives au pouvoir de police

Le rôle des communes dans la prévention des risques s'appréhende au travers des dispositions relatives au pouvoir de police du maire, principale autorité de police générale au niveau local. Cette police administrative a pour objet d'assurer le bon ordre, la sûreté, la sécurité et la salubrité publiques (CGCT, art. L. 2212-1). Ce pouvoir de police est une compétence exclusive du maire, il est insusceptible à la délégation de pouvoir. Ces dispositions exposent l'ampleur des fonctions de ces autorités en matière de prévention. L'article 2212-2 du CGCT, énumération 5°, inscrit la prévention des risques naturels dans la police administrative. La priorité principale de cette police vise à éviter la survenance d'un évènement naturel causant des préjudices. L'analyse des jurisprudences engageant la responsabilité de la commune en matière d'absence de mesures de polices préventive (CA Grenoble, 5 août 1992, n°21959) atteste de l'importance à considérer ce rôle (Joye et al., 2015).

Toutefois, en matière de risques naturels, le maire collabore étroitement avec le préfet disposant lui-même d'un pouvoir de substitution, dans le cas où le maire serait dessaisi de ses pouvoirs de police administrative générale. Il revient in fine au maire de « provoquer l'intervention de l'administration supérieure en cas de danger grave ou imminent tel que les accidents naturels prévus au 5° de l'article L. 2212-2 ». Le maire a dans ce cas, d'une part, le devoir d'ordonner des mesures de sureté en fonction de l'incident et d'autre part, d'« informer d'urgence le représentant de l'Etat dans le département et lui [faire] connaître les mesures qu'il a prescrites » (CGCT, art. L. 2212-4).

5.3.4.3.2 Les mesures relatives à l'information

Concernant les règles relatives à l'information, les communes mettent en œuvre, sous l'autorité du maire, un plan communal de sauvegarde (PCS), instauré par l'article 13 de la loi n°2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile. Ce plan rassemble tous les documents de compétence communale contribuant à l'information préventive et à la protection de ses administrés. Au regard des risques recensés et connus à l'échelle communale, il préconise les mesures immédiates d'alerte, d'information, de sauvegarde et de protection des personnes. Il fixe l'organisation nécessaire à la mise en place de ces mesures et des consignes de sécurité. Il identifie les moyens disponibles et détermine la mise en œuvre des mesures d'accompagnement de la population. Le PCS complète les plans ORSEC de protection générale des populations (Décret n°2005-1156 du 13 septembre 2005 relatif au plan communal de sauvegarde, art. 1). Le document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) renforce les mesures relatives à l'information. Le DICRIM recense les mesures de sauvegarde répondant aux risques naturels sur le territoire de la commune.

5.3.4.3.3 Les mesures relatives à l'urbanisme

Les communes ont un rôle à tenir notamment depuis la décentralisation d'une partie de la politique d'urbanisme. Les documents d'urbanisme sont définis comme des instruments de prévention des risques. Les risques naturels sont considérés et recensés dans les PLU, ainsi que dans le projet d'aménagement et de développement durable (PADD). Il convient d'anticiper les conséquences d'un risque naturel en mettant en place des mesures afin d'empêcher ou de limiter la survenance de l'évènement. Les servitudes, le zonage et les limitations de construction sont des dispositions à adopter par les autorités locales pour réduire les risques. Toutefois, la jurisprudence insiste sur la difficulté à mettre en place ces limitations de construction, souvent peu opérantes par

rapport à la pression des constructeurs (CAA Nantes, 10 décembre 2019, n°s 18NT01531, 18NT01546, 18NT01620, 18NT01621, 18NT01642, Ministre de la transition écologique et solidaire, Commune de la Faute-sur-Mar, Association syndicale autorisée de la Vallée du Lay, à propos des autorisations de construire accordées dans des zones exposées aux inondations concernant Xynthia).

Les outils de prévention communaux présentent des limites. En l'espèce, ils n'incluent pas des règles de construction à caractère préventif (Cans et al., 2014). Bien que certains documents d'urbanisme soient annexés par des règlements, ces derniers n'imposent en rien des mesures préventives. Alors que le cadre communal est devenu impertinent aux outils de prévention des risques communaux, la solution se trouve dans le cadre intercommunal comme en témoignent les schémas de cohérence territoriale (SCOT) (C. urb., art. R. 122-3 4^e) et les PLU intercommunaux (PLUI) institués par la loi portant sur l'engagement national pour l'environnement du 12 juillet 2010. Ce PLUI couvre l'intégralité du territoire communautaire. L'intercommunalité est désormais l'échelle la plus appropriée pour coordonner les politiques d'urbanisme et de prévention des risques naturels puisque le risque naturel, par exemple sismique ou d'inondation, ne se limite pas au territoire communal (MCTRCT, 2020). Par conséquent, l'intercommunalité offre une mutualisation des moyens et des compétences entre les territoires.

5.3.4.4 L'expertise scientifique

La qualification de la responsabilité des experts doit être distinguée suivant deux types : la responsabilité des experts dont l'avis est demandé par un juge, et celle des experts « conseils » des élus, et des collectivités publiques. Cette section visera la responsabilité des experts appartenant aux établissements publics à caractère scientifique.

L'expertise scientifique, à la demande du juge, se trouve au centre de la décision publique comme cela a été observé lors des rendus de décision pour différentes instances juridiques (CA Grenoble, 5 août 1992, n°21959 ; T. corr. Bonneville, 17 juillet 2003, n°654-2003). Cette évolution dans le procédé de prise de décision s'explique par des risques naturels toujours plus complexes qui demandent davantage de compétences pour que le juge valide sa décision. Par conséquent, l'expert devient auxiliaire dans la décision publique en mobilisant son savoir pour aider à la compréhension du risque (Galland, 1998). Deux lois définissent la réglementation vis à vis des experts. Celle du 15 juillet 1982 a créé une relation bidirectionnelle entre l'expert et l'Etat. Celle du 7 janvier 1983 est relative à la répartition des compétences entre les communes, les départements, les régions et l'Etat. Ainsi, cette fonction s'exerce en relation étroite avec les autres acteurs intervenant dans le champ de prévention dans une logique de compétences collectives. L'analyse des jurisprudences en matière de risques naturels illustre bien cette

collaboration entre experts et décideurs pour la prévention (Guénon, 2013). L'autorité publique doit ainsi se servir des connaissances de l'expert pour l'aide à la décision et à la gestion du risque.

Toutefois, la fonction d'expertise amène les scientifiques à réfléchir à leur responsabilité. La qualification d'expert peut mettre en accusation l'expert lui-même, lors d'un évènement naturel qui n'aurait pas été prévu ou lorsqu'il donne des informations erronées. Par exemple, les organismes de recherche français ont une mission d'interface entre la recherche et les besoins économiques et sociaux du pays, qui les conduit à donner des avis aux pouvoirs publics concernés mais aussi à fixer des normes ou à effectuer des travaux scientifiques ou techniques. Ces institutions engagent leur responsabilité lorsqu'elles ont autorisé leur agent à être expert. Dans l'expertise scientifique, l'expertise technique peut être prise en compte et nécessite des avis obligatoires, requis d'un organisme déterminé. La fonction de l'organisme consiste à donner ces avis. Dans ce cas, il semble que l'expert s'efface derrière son institution, qui supportera la responsabilité civile ou pénale, quitte pour celle-ci à se retourner contre lui en cas de faute caractérisée. Pour éviter tout problème, le rapport d'expertise doit bien mentionner que l'expertise est une aide à la décision et que l'expert n'a aucune qualité pour se substituer au décideur (COMETS, 2013). L'expertise n'a pas pour fonction de dire la vérité mais d'apporter un complément d'intelligence au service d'une décision qui lui est extérieure (Dodet, 1998 ; COMETS, 2013).

L'étude de la jurisprudence a permis de mettre en avant une ligne directrice. Les décisionnaires sont souvent engagés dans des affaires de risques naturels alors que l'expert n'est appelé uniquement pour rendre son expertise. Par conséquent, la responsabilité est rattachée au pouvoir plutôt qu'au savoir. La responsabilité est mise en cause s'il y a une carence dans l'obligation de moyen qu'a l'expert. Cette obligation se réfère à l'incertitude existante due à un aléa. Il s'agira pour le juge d'apprécier et d'appréhender cette incertitude émise par les scientifiques avant de retenir la responsabilité. La jurisprudence évoque que si cette incertitude est comprise dans les rapports d'expertise, alors la condamnation n'aura pas lieu si le régime de responsabilité se trouve en faute. L'incertitude est rarement mise en cause, sauf dans un seul cas d'affaire concernant le glissement de terrain de Séchilienne. Dans son arrêt du 7 avril 1999, le Conseil d'Etat devait se prononcer sur la requête de l'association « vivre et rester au pays » qui demandait l'annulation de la déclaration d'intérêts publics pour l'expropriation des biens exposés aux risques naturels. La juridiction administrative rejette cette demande en raison « qu'il est constant que les incertitudes affectant aussi bien la connaissance du comportement de la partie instable du massif et les conditions d'un effondrement éventuel que les conséquences des phénomènes climatiques ou sismiques peuvent rendre insuffisants les délais nécessaires au déclenchement de l'alerte et à l'évacuation complète

des personnes se trouvant sur les lieux exposés (...) ; que dans ces conditions, le gouvernement a pu légalement décider d'exproprier les immeubles situés dans le périmètre déterminé à l'issue de l'enquête publique » (CE, 7 avril 1999, Association « Vivre et rester au pays », n°189-263 ; Lacroix et al., 2005). Les incertitudes soulignent le manque d'informations sur le comportement dynamique de la roche et du glissement de terrain. Ainsi, à travers ce cas d'affaire, le juge privilégie la prudence et la non construction sur des zones à risques, surtout quand il existe de fortes hésitations dans l'expertise scientifique.

5.4 L'appréciation des différentes responsabilités de l'administration vis-à-vis du risque naturel

Le droit des risques naturels et le droit de la responsabilité permettent d'engager la responsabilité administrative en matière de risque naturel. Cette responsabilité est fonction de l'appréciation du juge administratif quant à l'existence ou non d'une faute de l'administration.

5.4.1 L'engagement de la responsabilité devant le juge administratif

5.4.1.1 La responsabilité pour faute

En matière de responsabilité administrative pour faute, le juge administratif, en s'appuyant sur le fonctionnement administratif, procède à des distinctions fondamentales concernant la notion de faute. Le juge fait la différence entre faute personnelle et faute de service et entre faute lourde et faute simple.

5.4.1.1.1 La différenciation faute personnelle - faute de service

Selon l'arrêt Pelletier, la faute personnelle donne la compétence au juge judiciaire de juger l'action en réparation suivant les règles du code civil. La faute de service, pour sa part, retient la responsabilité de la personne publique, auteur de la faute. Comme le rappelle l'arrêt Blanco, seul le juge administratif est compétent pour apprécier la responsabilité sur le fondement du droit administratif. Dans cet arrêt, le juge met en lumière des caractéristiques permettant de distinguer la faute personnelle de la faute de

service, notamment pour encadrer plus précisément la faute personnelle. Elle peut se présenter selon deux cas. Un premier cas est la faute personnelle commise en dehors du service, ne pouvant en aucun cas être appréciée comme une faute de service (C. civ., art. 1382 & 1383). Le second cas est la faute personnelle commise à l'occasion du service pour laquelle les conditions de détachabilité sont diverses. Ces conditions peuvent se résumer à quatre classifications (Van Lang, 2018) :

- La faute personnelle commise à l'occasion du service, marquée par la poursuite d'un intérêt privé ;
- La faute personnelle commise à l'occasion du service, révélant une intention malveillante ;
- La faute personnelle commise à l'occasion du service, témoignant de son extrême gravité (par exemple un manquement volontaire) ;
- La faute personnelle commise à l'occasion du service, manifestant un excès de comportement (le comportement s'éloigne des « pratiques administratives normales », selon la formule jurisprudentielle).

Une autre distinction existe entre la faute personnelle et la faute de service selon la distinction entre faute personnelle et faute pénale. Si la faute personnelle est provoquée par une infraction, un délit ou un manquement grave aux obligations légales de l'agent public, alors la faute pénale peut être recherchée.

Finalement, le commissaire du gouvernement Labetoulle a proposé une catégorisation toujours actuelle, dans ses conclusions sur l'arrêt Bousmaha (1984). Suite à la réduction progressive de son champ d'application, il soulignait les conditions immuables de la notion de faute personnelle. Celle-ci ne se définit plus que dans trois catégories : « celle de la faute dépourvue de tout lien avec le service ; celle de la faute commise dans le service ou à l'occasion du service, mais présentant un caractère intentionnel et correspondant à une volonté de nuire, à une malveillance délibérée ou à la recherche d'avantages personnels ; celle enfin d'une faute commise dans le service ou à l'occasion du service, sans caractère intentionnel mais dépassant un certain degré de gravité » (T. confl., 13 févr. 1984, n° 2.320, Bousmaha, Petites affiches 26 nov. 1984, p. 5, concl. Labetoulle).

5.4.1.1.2 Le recul de la faute personnelle au profit de la faute de service

Waline (1969) souligne les implications du recul de la faute personnelle au profit de la faute de service sur le droit de la responsabilité. En effet, les personnes morales de droit public, « entités abstraites » selon Van Lang (2018), nécessitent l'action de

personnes physiques pour réaliser leur acte. De ce fait, Waline mentionnait qu' « il n'y a jamais, en droit administratif de responsabilité du fait personnel, parce qu'une personne morale, comme l'Etat ou toute autre collectivité publique, agit toujours nécessairement par l'intermédiaire d'un agent et que, par conséquent, c'est toujours une responsabilité du fait d'autrui qui joue – à moins que ce ne soit une responsabilité du fait des choses. » (Eisenmann, 1949 ; Waline, 1969). En outre, pour engager la responsabilité administrative, le fait d'autrui doit être considéré comme fautif (Delvolvé, 1978). De ce fait, la répartition des responsabilités entre l'administration et l'agent public repose sur « la distinction entre faute de service et faute personnelle », initiée par l'arrêt Pelletier afin de permettre la réparation du préjudice à la victime (T. confl., 30 juill. 1873, Pelletier, Rec. p. 117, D. 1874, 3, n° 20, concl. David) (Van Lang, 2018).

5.4.1.1.3 Les dispositions de la différenciation faute personnelle - faute de service

L'analyse de la jurisprudence montre une recrudescence de l'engagement de la responsabilité administrative pour faute personnelle de l'agent public. Du fait de son risque d'insolvabilité, des règles ont été mises en œuvre par la juridiction administrative en partageant la charge indemnitaire entre l'agent et l'administration.

Le cumul des fautes

L'arrêt Anguet est à l'origine du principe du cumul des fautes (CE, 3 févr. 1911, Anguet, Rec. p. 146, S. 1911, 3, p. 137, note Hauriou). Le cumul des fautes fait appel à deux faits distincts provoquant un même dommage. Un premier fait générateur est dû à une faute personnelle de l'agent public et un second fait générateur est causé par une faute de service. Dans ce cas, deux responsabilités sont réunies. Dans le cas d'une responsabilité in solidum de l'administration et de l'agent public, la victime peut demander réparation du dommage auprès du juge administratif.

Le cumul des responsabilités

L'arrêt Lemonnier est à l'origine du cumul des responsabilités (CE, 26 juil. 1918, Epx Lemonnier, Rec. p. 761, concl. Blum). Il n'incombe pas à la victime de prouver la faute de service. Selon la jurisprudence, la faute de service se trouve présumée lorsque la faute personnelle est commise à l'occasion du service.

La faute personnelle non dépourvue de tout lien avec le service

Cette faute permet à l'administration de réparer le préjudice provoqué par ses agents en dehors du service. La jurisprudence montre que la qualification de faute personnelle dépend fortement de la conjonction de sa réalisation. En effet, selon Van Lang (2018), en cas de faute personnelle commise dans l'exercice des fonctions de l'agent, elle serait qualifiée en faute de service. Selon la décision du Conseil d'Etat, est reconnu comme un acte non détachable du service, tout acte ayant lieu pendant le service (CE, 21 janv. 1970, n° 75626, Sté générale d'entreprise toulousaine). Cet arrêt rappelle qu'une « faute, commise par l'agent pendant la durée du service, et alors même que son acte serait étranger aux fonctions qui lui étaient confiées, n'est pas dépourvue de tout lien avec le service ». En outre, un acte commis en dehors du service mais utilisant les moyens mis à la disposition de l'agent, est associé à une faute personnelle comme non dépourvue de tout lien avec le service. Paillet (1980) retient alors le lien instrumental définissant cette faute. (Paillet, 1980).

En conclusion, quatre états permettent de retenir la responsabilité administrative :

- En cas de faute de service de ses agents ;
- En cas de faute personnelle cumulée avec une faute de service ;
- En cas de faute personnelle commise à l'occasion du service ;
- En cas de faute personnelle commise hors du service mais non dépourvue de tout lien avec le service.

L'agent et l'administration étant considérés comme solidaires, la victime peut demander réparation « in solidum » de la totalité du préjudice devant le juge administratif.

5.4.1.2 Le recul de la faute lourde au profit de la faute simple

Le fait générateur de la responsabilité administrative, en d'autres termes la faute, considère « le manquement à une obligation préexistante » selon Planiol (1949). La responsabilité administrative peut être engagée à la suite d'une faute de service public. Par ailleurs, la faute en mesure de retenir la responsabilité doit être distinguée entre faute lourde et faute simple, impactant la gravité de la décision du juge. L'engagement de la responsabilité est de ce fait nuancé et individualisé selon chaque service public d'après les recommandations de l'arrêt Blanco.

5.4.1.2.1 Distinction entre faute et présomption de faute

En droit administratif, la faute est requise dès lors qu'une action administrative provoquant un dommage est illégale. Dans le cas contraire, celle-ci ne sera pas qualifiée de fautive mais elle pourrait provoquer tout de même des conséquences néfastes. Dans ce cas, la responsabilité administrative sans faute sera retenue si les conditions à propos du préjudice sont combinées.

La faute peut avoir plusieurs origines : elle peut provenir d'un fait matériel comme la mauvaise réparation d'un ouvrage public, ou elle peut se composer d'une action positive, d'une inaction ou d'une absence d'agir définissant ainsi une carence fautive. La Cour administrative de Nantes retient la double carence fautive de l'Etat pour engager sa responsabilité à propos de la pollution du littoral par des algues vertes. La faute de l'Etat se compose d'un manquement à son exercice de police concernant des installations classées pour la protection de l'environnement et d'une inaction dans la transposition tardive de la directive européenne « nitrates » de 1991 (CAA Nantes, 1^{er} déc. 2009, MEDD c/ Assoc Halte aux marées vertes, AJDA 2009, p. 934).

La faute doit être établie par la victime, c'est à elle qu'incombe la charge de la preuve (Van Lang, 2018). Toutefois, la jurisprudence tend à faciliter la situation de la victime en mettant en place des dispositifs de présomption de faute. Les rôles sont inversés. La victime ne doit plus établir la faute, mais le lien de causalité entre le fait générateur et le dommage. C'est à l'administration de prouver l'absence de faute de sa part pour être exonérée. Ce régime de présomption de la faute s'opère dans le domaine des préjudices liés aux travaux publics, à la conception et à l'aménagement de l'ouvrage. C'est au maître d'ouvrage de prouver l'absence de défaut d'entretien de l'ouvrage public, c'est-à-dire l'absence de faute de sa part si un dommage est subi et causé par l'ouvrage public (Van Lang, 2018).

5.4.1.2.2 La cessation de la faute lourde au profit de la faute simple

La distinction entre la faute lourde et la faute simple a lieu dans l'analyse de la difficulté de l'activité. Des comportements actifs ou des défauts d'intervention nécessitent une faute lourde pour engager la responsabilité. Pour toute autre mesure de police qui ne demande pas de difficultés ou d'activités matérielles de police (ou absence), alors la faute simple suffira (CE, 29 avr. 1998, Cne de Hannapes, Rec. P.185 : à propos de l'organisation et le fonctionnement du service de lutte contre l'incendie). De manière générale, le régime de responsabilité administrative pour faute est souvent retenu en cas de préjudice généré par une faute simple.

Dans le domaine des risques naturels, l'analyse de la jurisprudence tend à montrer une diminution de jugement favorable à la responsabilité pour faute lourde (CAA de

Bordeaux, 1 août 1994, Sieur Bedat c/ Cne de Borce, n°93BX00418) en faveur d'un jugement appliqué pour faute simple.

De nombreux cas de jurisprudences relatifs aux risques avalancheux n'exigent que la faute simple pour engager la responsabilité de l'administration (CE, 14 mars 1986, Cne de Val d'Isère c/Dame Bosvy, n°20-670 ; CE, 16 juin 1989, Ass. « Ski Alpin Murois » c/Etat et Cne de la Morte, n°59-616 ; CAA Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879). Il en est de même pour le risque rocheux. Par exemple, suite à la destruction d'une maison provoquée par un effondrement rocheux sans que le maire ait pris des mesures préventives pour éviter cette situation, le Conseil d'Etat n'engage pas la responsabilité du maire pour faute lourde car « l'existence d'un péril grave et imminent d'éboulement n'apparaissait pas avec évidence » (CE, 10 juil. 1953, Sieur Dumulin c/Cne de Breguier-Cordon).

5.4.1.3 Faute dans le domaine des risques naturels

En matière de risques naturels, la faute lourde est requise pour que la responsabilité administrative soit susceptible d'être retenue du fait des difficultés rencontrées pour faire face aux situations. Lorsqu'un évènement naturel se produit à la suite de la sous-estimation de celui-ci par l'autorité compétente, alors la responsabilité administrative est souvent retenue.

5.4.1.3.1 Faute résultant de l'exercice des pouvoirs de police générale

Le pouvoir de police générale, c'est-à-dire la principale autorité de police du maire, est évoqué aux articles L. 2212-2 et suivants du code général des collectivités territoriales. Une des missions principales dont dispose la police administrative est de prévenir les risques. L'administration n'a pas le devoir d'éliminer le risque mais elle a l'obligation de mettre en place les mesures et les politiques les plus appropriées pour éviter sa réalisation ou en limiter les conséquences. Les mesures sont variées, comme l'information ou la mise en place de moyens de protection. La jurisprudence a eu l'occasion de se prononcer sur les possibilités de mesures.

D'une part, la Cour d'Etat et la Cour administrative se sont exprimées sur les mesures de police générale concernant les mesures de protection, par exemple la réalisation d'ouvrage de défense contre les avalanches (CE, 14 mars 1986, Cne de Val-d'Isère, n°96272, 99725 ; CAA Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues). La Cour administrative d'appel de Bordeaux réitère la décision concernant l'obligation de mise en place de moyens de protection en jugeant indispensable de prendre des mesures contre un éboulement rocheux d'une falaise présentant des déformations importantes (CAA de Bordeaux, 27 mars 2003, M. X... C/Maire de Cne de Camous, n°99BX007764). De ce fait,

« en cas de danger grave ou imminent, [...] le maire prescrit l'exécution des mesures de sureté exigées par les circonstances » (CGCT, art. L. 2212-4).

D'autres part, les mesures de police générale sont aussi constituées de mesures restrictives à l'accès à des endroits dangereux, par exemple à des constructions menacées par une crue torrentielle (CAA, 13 juin 1997, Cne du Grand-Bornand, n°94LY00923, 94LY01204) ou par une avalanche (CAA, 1^{er} févr. 1990, Consorts Pressigout, n°89LY00098).

Enfin, la Cour s'est prononcée sur les mesures d'information pouvant engager la responsabilité. La Cour administrative concernant le cas de la Commune de La Grave a retenu la responsabilité administrative pour faute lourde en identifiant une carence d'information sur le risque avalanche (CAA, 1^{er} févr. 1995, Cne de La Grave, n°93LY00483). Le manque d'information est donc un élément susceptible d'engager la responsabilité administrative du maire, puisque ce dernier selon le Conseil d'Etat doit prendre « les mesures nécessaires » d'affichage des risques afin d'assurer « une signalisation appropriée » (CE, 11 avr. 1975, Dpt de Haute Savoie c/Dame Tixier et M. Nicolle, n°84-846).

A la survenance d'un risque naturel, l'instruction révèle que des actions de l'administration pourront être réprimandées si la mise en œuvre de mesures est considérée comme insuffisante. Toutefois, Joye et al., (2015) soulignent que la responsabilité pour défaillance fautive dans l'exercice du pouvoir de police générale est peu retenue. D'une part, si les moyens à mettre en place par la commune pour limiter le risque requièrent des moyens au-delà de ses propres ressources, alors le juge ne retiendra que rarement la responsabilité administrative (CAA Bordeaux, 3 févr. 2005, M et Mme Bernard X, n°01BX00069 à propos d'éboulement sur un versant montagneux ; CE, Ass. « Ski Alpin Murois, 16 juin 1989, n°59616 à propos de travaux de préservation contre les avalanches). D'autre part, si un doute persiste sur les expertises passées, alors le plus souvent la responsabilité est écartée. La Cour administrative d'appel de Bordeaux affirme cet élément en rejetant la prise en compte d'un évènement antérieur dû à l'incertitude des informations récoltées : « Il n'est pas établi de façon certaine que l'avalanche de 1942 dont font état les requérants ait atteint la commune elle-même » (CAA de Bordeaux, 27 déc. 1993, Epoux Goutereau, Epoux Pauzes et Dame Olive c/Etat et Cne de Porte-Puymorens, n°91BX00685).

5.4.1.3.2 Faute résultant de l'exercice de pouvoirs de police spéciale

Les pouvoirs de police spéciale en matière de risques naturels font référence aux mesures d'urbanisme. Ces mesures d'urbanisme regroupent les autorisations d'occupation des sols et les plans de prévention des risques naturels (PPRN). La responsabilité est susceptible d'être engagée pour les deux autorités administratives liées à la police spéciale

d'urbanisme : une chargée de délivrer l'autorisation d'urbanisme et l'autre chargée d'adopter les mesures réglementaires d'urbanisme. Les exemples jurisprudentiels dus à une faute dans la délivrance d'urbanisme sont nombreux.

D'une part, en matière d'encadrement des autorisations d'urbanisme, la faute simple suffit à engager la responsabilité administrative notamment si l'existence du risque était sue au moment de la délivrance de l'autorisation d'urbanisme. Pour sa décision, le juge administratif s'appuie sur la règle fixée aux articles R. 111-2 et R. 111-3 du code de l'urbanisme en matière d'autorisation de construire en regardant s'il existe une violation des textes. La défaillance dans la délivrance de l'autorisation est assimilée soit à un défaut dans l'autorisation de la construction soit à un défaut d'assujettissement de l'autorisation à des prescriptions spéciales. Cette deuxième défaillance est généralement à l'origine de la mise en cause de la responsabilité de l'administration. Par conséquent, la connaissance du risque, plus particulièrement le pouvoir ou la capacité que l'administration a de le connaître est au centre de l'engagement de la responsabilité (CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879) (Joye et al., 2015). Pour son appréciation, le juge se limite aux informations disponibles par l'administration à la date de survenance de la faute. La décision du Conseil d'Etat dans son arrêt de 1989 relatif à une avalanche confirme cette règle permettant de ne pas engager la responsabilité de l'administration : « qu'à la date où a été délivré son permis de construire, (...), compte tenu des informations possédées à l'époque sur les risques avalanche que présentait ladite zone alors, que depuis 1905, aucune avalanche n'avait franchi la forêt située en contre haut du chalet (...) l'Etat n'a pas commis de faute susceptible d'engager la responsabilité » (CE, 16 juin 1989, Ass. « Ski Alpin Murois » c/Etat et Cne de la Morte, n°59616).

Enfin, le juge examine aussi les précédents pour prendre sa décision. Si aucun précédent n'existe ou s'il a une ancienneté trop importante, alors le juge administratif examine si le risque apparaît évident du fait de la configuration même des lieux (CE, 16 juin 1989, Ass. « Ski Alpin Murois » c/Etat et Cne de la Morte, n°59616 ; CE, 25 oct. 1985, M. Poinignon, n°39288, à propos du déclenchement d'avalanches touchant des terrains classés en zone constructible). Un niveau d'ancienneté envisageable peut être défini comme un temps où les informations sont soit perdues soit imprécises, bien que ce ne soit pas considéré comme une possibilité d'exonération de la responsabilité. Par exemple dans l'affaire de l'avalanche du 10 février 1970 sur le chalet de Val d'Isère, le Conseil d'Etat remonte à 1917 pour comparer le phénomène destructeur de 1970 à un autre évènement similaire (CE, 14 mars 1986, Cne de Val d'Isère c/Dame Bosvy, n°20670). Ainsi l'administration se doit d'avoir en mémoire la frise chronologique des phénomènes naturels. Elle doit aussi savoir maîtriser la configuration des lieux en sachant si cette zone peut être soumise à un risque naturel. Par conséquent, si elle n'a pas connaissance de cette caractéristique, la responsabilité de l'administration se voit atténuée. Cependant, le juge souligne que l'inaction de la commune est une faute dans le cas où elle autorise des constructions nouvelles dans une zone où il existe des documents

d'informations montrant la connaissance et l'étendue du risque sans réalisation d'étude approfondie (CAA de Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879, à propos d'une avalanche).

D'autre part, la responsabilité de l'Etat et de la commune en charge de l'adoption d'un PPRN est susceptible d'être recherchée en cas de faute dans sa mise en place. La Cour administrative a ainsi engagé la responsabilité de l'Etat due au retard à adopter un PPRN (CAA de Marseille, 13 mai 2008, SCI Brancas, n°05MA01437). En outre, si la zone concernée prétend à un PPRN mais que celui-ci mette du temps dans sa mise en vigueur bien que le risque soit imminent et connu, alors le juge administratif estime que le comportement de l'administration est fautif du fait de son manque d'appréciation de la réalité du risque au moment de la délivrance de l'autorisation d'urbanisme (CE, 27 juil. 1979, Sieur Blanc c/Ministre de l'Equipement, n°06875). Toutefois, cette analyse est à nuancer puisque lorsqu'aucun précédent n'atteste de la réalité d'un risque, le préfet n'a pas commis de faute en cas de non application de la procédure de délimitation des zones à risque. La Cour administrative défend cette décision en stipulant que « l'Etat n'a pas commis de faute susceptible d'engager sa responsabilité vis-à-vis de ces derniers en n'ayant pas encore mis en œuvre à la date de la délivrance de l'autorisation de lotir la procédure de délimitation des zones exposées à des risques naturels prévus par l'article 3 du décret du 30 novembre 1961 devenu l'article R. 111-3 du code de l'urbanisme » (CAA de Bordeaux, 27 déc. 1993, Epoux Goutereau, Epoux Pauzes et Dame Olive c/Etat et Cne de Porte-Puymorens, n°91BX00685).

5.4.2 Les avancées de la responsabilité sans faute

Le régime de responsabilité fondée sur la faute représente le droit commun de la responsabilité administrative. Cependant, le fait générateur à l'origine de la faute et pouvant engager la responsabilité peut être qualifié de fautif ou non fautif (Van Lang, 2018). De ce fait, le juge administratif fait appel de plus en plus au régime de responsabilité sans faute. Ce régime s'enrichit notamment depuis l'arrêt Cames à propos d'un accident professionnel qui, pour la première fois, pose le principe et retient la responsabilité administrative sans faute (CE, 28 juin 1895, Rec. p.509, concl. Romieu). Deux fondements essentiels font appel à la responsabilité sans faute : le risque et la rupture d'égalité devant les charges publiques.

5.4.2.1 Responsabilité sans faute fondée sur la notion de risque

Dans le domaine juridique, Guettier (2005) donne une définition du risque selon qu'il, « renvoie à l'idée de danger éventuel plus ou moins prévisible. Il évoque un événement incertain (aléa), possiblement dangereux (d'où l'existence d'enjeux) et donc dommageable (d'où le calcul de vulnérabilité) ». Dans le domaine des risques naturels, de par sa définition, le risque, devant être qualifié de spécial, fait appel à la responsabilité sans faute de l'administration.

5.4.2.2 Responsabilité sans faute fondée sur la rupture d'égalité devant les charges publiques

Le principe d'égalité de tous les citoyens devant les charges publiques définit « le fondement même nécessaire à engager la responsabilité administrative dès lors que son action, menée dans l'intérêt général, provoque à une personne un dommage à la fois spécial et anormal » (Van Lang, 2018). Dans ce régime, le préjudice doit être décrit comme spécial et anormal. Il est dit spécial dès lors qu'il n'est supporté que par un nombre réduit de la collectivité. Il est dit anormal dès lors qu'un degré de gravité élevé est atteint et subi par un nombre réduit de la collectivité. Quand un nombre réduit de la collectivité subi un préjudice anormal et spécial dû à un acte administratif régulier et légal, l'intérêt général pousse à rompre l'égalité de tous devant les charges publiques. Les administrés ayant enduré le préjudice peuvent demander réparation à l'administration. Si ces critères ne sont pas respectés, alors la rupture de l'égalité de tous devant les charges publiques ne pourra être soutenue. Cette responsabilité s'exprime notamment du fait des décisions administratives légales. Toutefois, en matière de risques naturels, peu de cas de responsabilité pour rupture d'égalité devant les charges publiques sont mentionnés si ce n'est pour des préjudices liés aux ouvrages de protection.

5.4.2.3 Cas de responsabilité sans faute en matière de risques naturels

Berramdane (1997) montre que la responsabilité de l'administration peut être engagée pour des dommages causés par l'existence de travaux publics. La Cour administrative d'appel retient la responsabilité de l'administration en mettant en évidence l'existence de lien de causalité entre l'existence de l'ouvrage public et le dommage subi : « la forme et la position respectives des digues et plus particulièrement l'existence de la digue longitudinale sont à l'origine de la déviation de la trajectoire de l'avalanche [...] ; que dans ces conditions les requérants établissent l'existence d'un lien de causalité entre le sinistre qu'ils ont subi et l'ouvrage public qui a modifié le phénomène naturel » (CAA de Lyon, 27 décembre 2001, Epoux Druliolle et SCI Les Deux Glaciers c/ Etat et SIVOM de Chamonix Les Houches, n°95LY01357, à propos d'une avalanche).

Même si le comportement de l'élu est adapté à une situation dangereuse, la responsabilité de la commune sans faute ne sera pas écartée comme le retient le Conseil d'Etat concernant une inondation en 2008 : « la protection de la sécurité publique [...] ne suffit pas à exclure l'engagement de la responsabilité sans faute de l'autorité de police » (CE, 11 avril 2008, SCI Moulin du Roc, n°288528). En effet, la loi de juillet 2003 précise que « l'organisation de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues est assurée par l'État » (C. env., art. L. 564-1) et ne préjuge en rien de son irresponsabilité.

5.5 La responsabilité pénale en matière de risques naturels

Même si ce travail se concentre sur la responsabilité administrative, il existe une autre juridiction, appelée judiciaire, pour les fautes administratives qualifiées de fautes personnelles, présentée dans ce chapitre pour avoir un panorama complet des procédures existantes.

La responsabilité pénale requiert une faute pour être susceptible d'être engagée. D'un point de vue technique, les conséquences du dommage lié au risque naturel peuvent être limitées ou empêchées. En d'autres termes, l'homme participe au dommage selon son action ou son inaction. Les personnes pouvant être fautives et voir leur responsabilité pénale recherchée sont les personnes morales et les personnes physiques (élus locaux). Les caractéristiques générales de la faute pénale sont examinées avant d'établir un panorama des infractions susceptibles d'imputer la responsabilité pénale.

5.5.1 La réponse pénale en matière de risques naturels

Lorsqu'un délit est considéré, le juge pénal sera compétent pour sanctionner le responsable. En matière de risques naturels, bien que peu de sanctions pénales font surface dans les instances juridictionnelles, la jurisprudence démontre malgré tout que certains délits non-intentionnels permettent d'engager la responsabilité pénale de certains agents de l'administration. En outre, force est de constater que la responsabilité est rarement unique.

La recherche de la responsabilité pénale est amorcée lorsque l'action de l'homme, participe à la cause de la catastrophe selon Steinlé-Feuerbah « pour l'avoir déclenchée, pour ne pas l'avoir prévue ou prévenue, ou encore pour ne pas avoir mis en place une sécurité suffisante en amont » (Steinlé-Feuerbah, 2013).

5.5.1.1 Caractères généraux de la faute

L'infraction pénale est caractérisée par sa gravité selon le juge, c'est-à-dire selon l'ampleur du dommage causé à la société définissant le crime, le délit ou une simple contravention. Le délit est retenu dans le domaine des risques naturels. Cette caractérisation, assimilée à la légalité, participe à définir une infraction pénale en réunissant deux autres éléments : le matériel et l'intentionnalité.

L'intentionnalité régit l'infraction pénale en matière de risques naturels. En effet, en vertu de l'article 121-3 du code pénal, l'élément intentionnel est requis pour les délits et les crimes : « il n'y a pas de crime ou de délit sans intention de le commettre ». Les personnes physiques comme morales peuvent être poursuivies par cette juridiction. Aux vues de l'analyse de la jurisprudence, les élus locaux sont les principales personnes responsables en matière pénale. Elles se situent en amont du fait de l'importance du pouvoir de police qu'elles exercent. Toutefois, seules les infractions qualifiées de délits non intentionnels sont pertinentes dans le cas des risques naturels (Institut des risques majeurs, 2015). Il s'agira d'appréhender la distinction entre l'auteur direct et l'auteur indirect du dommage. Cette distinction différencie celui qui a commis la faute par lui-même et celui qui a contribué à créer la situation du dommage : par exemple un préfet qui autorise la délivrance d'un permis de construire dans un espace à risque. L'auteur indirect reste généralement considéré comme fautif dans des accidents dus aux risques naturels.

5.5.1.2 Le délit non-intentionnel retenu en matière de risques naturels

Le régime de la responsabilité pénale est souvent mal vécu par les élus locaux et les membres de l'Etat. Prenant conscience de cette difficulté, le législateur modifie l'article 121-3 du code pénal au travers de la loi du 13 mai 1996 relative à la responsabilité pénale pour des faits d'imprudence ou de négligence (JORF, 1996) et la loi Fauchon rendant à préciser la définition des délits non intentionnels (JORF, 2000) afin de réduire le domaine de responsabilité des élus (Cans et al., 2014). Du fait de ces changements dans la loi, le délit est identifié lorsque le lien de causalité indirect entre la faute et le dommage est prouvé. Il s'agira d'apprécier, de trouver et de mettre en évidence la faute qualifiée. Cette faute caractérisée rend les poursuites pénales plus difficiles à l'encontre des auteurs indirects (Joye et al., 2015).

La faute qualifiée est identifiée dans l'article 131-1 alinéa 4 du Code pénal selon deux distinctions. La première est « la violation manifestement délibérée d'une obligation particulière de prudence et de sécurité prévue par la loi ou le règlement ». La deuxième, la plus retenue dans le cas des risques naturels, est une « faute caractérisée qui expose autrui à un risque d'une particulière gravité que la personne ne pouvait ignorer ». Elle est généralement caractérisée par un manque de décision volontaire. Son degré de gravité

est fonction de la zone où s'est produit le risque naturel. L'analyse de la jurisprudence montre que la faute caractérisée revêt deux aspects. Soit elle possède un caractère évident et intense (TGI Albertville, ch. Corr. 24 nov. 2008, n°1367-08), soit elle prend en compte un ensemble de manquements et de négligences. Elle peut être une « accumulation d'imprudences ou de négligences successives témoignant d'une impéritie prolongée » (Manoha, 2004) comme cela a été montré dans le jugement rendu par le Tribunal de grande instance de Bonneville (TGI de Bonneville, 17 juil. 2003, n°654-2003, à propos de l'avalanche sur Montroc). Dans cette affaire, le tribunal correctionnel de Bonneville prouve l'existence de plusieurs fautes qui toutes réunies, constituent une faute caractérisée. Le maire a failli à son devoir de police général, à un manquement d'information, de mise en place de plan d'évacuation alors même que le risque avalanche considéré comme exceptionnel par les experts était connu. Cette faute caractérisée met en péril autrui face à un risque d'une intensité extraordinaire, impossible à ignorer.

Le nombre d'incriminations montre la volonté du législateur d'empêcher la déresponsabilisation pénale des autorités publiques.

5.5.2 Infractions susceptibles d'être sanctionnées en matière de risques naturels

L'infraction portant atteinte à la vie d'autrui est synonyme de l'infraction d'homicide involontaire qui se définit selon l'article 221-6 du code pénal par : « le fait de causer, dans les conditions et selon les distinctions prévues à l'article 121-3, par maladresse, imprudence, inattention, négligence ou manquement à une obligation de sécurité ou de prudence imposée par la loi ou les règlements, la mort d'autrui constitue un homicide involontaire ». L'infraction de mise en danger d'autrui, quant à elle, est définie dans l'article 222-19 et relève du fait de générer des blessures involontaires sur autrui. Le code pénal prévoit désormais une aggravation de la peine « en cas de manquement délibéré à une obligation de sécurité ou de prudence par la loi ou les règlements ». Il n'y a pas de définition de victime dans la mise en danger délibéré, c'est une infraction autonome. De ce fait, en vertu des articles ci-dessus dans le domaine relatif aux risques naturels, deux manquements peuvent permettre de rechercher la responsabilité pénale des autorités publiques.

5.5.2.1 Homicide ou blessures involontaires

L'analyse de la jurisprudence présente la première faute due à un manquement ou une obligation de sécurité de la part des personnes publiques dans l'exercice des pouvoirs de police. Le maire est soumis à l'obligation d'informer ses administrés en rappelant le risque qu'ils peuvent encourir (CGCT, art. 2212-2). En cas de danger imminent, l'autorité

de police du maire doit prescrire des mesures de sécurité adaptées à la situation. Par exemple, par sa carence dans la prise de décision à mettre en place des mesures de sécurité envers ses administrés, le maire de Chamonix a été reconnu responsable du décès de douze personnes suite à l'avalanche qui a dévasté le hameau Montroc aux motifs que le risque d'avalanche était particulièrement connu de tous et spécialement du maire. Celui-ci, et compte tenu du risque, n'a pas su prendre la seule mesure adéquate, à savoir, l'évacuation (TGI de Bonneville, 17 juil. 2003, n°654-2003) (Joye et al., 2015). Ce type de manquement est identifié dans le régime de causalité indirecte.

Tout comme le juge administratif, le juge judiciaire prend en considération les moyens et les compétences dont le maire dispose au moment de la catastrophe (Cass. crim., 9 nov. 1999, n°98-87.432 ; Cass. crim., 18 déc. 1990, n°90-86.304).

De la même façon que pour la responsabilité administrative, dans le but de rechercher la responsabilité pénale d'une personne, il appartient au juge d'apprécier le caractère certain du dommage et la définition du lien de causalité entre la faute et le dommage (Cans et al., 2014 ; Joye et al., 2015 ; Pin, 2019). La jurisprudence concernant le risque d'avalanche illustre ce lien de causalité directe et cette notion de dommage certain. La Cour d'appel retient la responsabilité pénale du maire pour homicide involontaire à propos d'un déclenchement d'avalanche. Sa responsabilité a été engagée due à une négligence par absence de mise en place de moyens de prévention alors que les conditions météorologiques auraient dû l'amener à une décision protectrice (CA de Grenoble, 5 août 1992, n°21959). Il convient d'identifier cette faute comme étant une faute d'omission (Joye et al., 2015). Par conséquent, il y a délit lorsque l'acteur a participé à créer la situation qui a permis de réaliser le dommage ou l'a aggravée en l'absence de prise de mesures permettant de l'empêcher (Cans et al., 2014 ; Joye et al., 2015).

D'autres cas d'affaires condamnent les collectivités et communes pour leur manque d'action (Cass. crim, 14 mars 2000, bull crim n°114, n°01-88.275). La jurisprudence à propos de la tempête de 2001 de Pourtalés est une illustration d'une faute pénalement incriminable souvent commise par les autorités publiques. Le Tribunal, dans sa décision, déclare la ville coupable des infractions d'homicide et de blessures involontaires suite à la chute d'un platane lors d'une tempête. Le tribunal démontre que « l'absence de communication entre les services est patente », ce qui a rendu la ville pénalement condamnable en raison des fautes d'omission commises (T. corr. de Strasbourg, 27 mars 2007).

5.5.2.2 Mise en danger de la vie d'autrui

Un délit non intentionnel se définit par une seconde infraction : celle de la mise en danger d'autrui apparaissant dans l'article 223-1 du code pénal. Cette infraction suppose qu'une personne expose autrui à des risques indirectement (Lacroix et al., 2005). Qualifiée comme une infraction autonome, il n'y a pas forcément de victimes. Le cas contraire, la présence de victime serait interprétée comme cause d'aggravation de la mise en danger d'autrui.

La jurisprudence relative aux risques naturels concernant les personnes publiques définit l'état comme le principal acteur pour prendre une décision. Par conséquent, en matière de responsabilité pénale comme en matière de responsabilité administrative, la répartition des responsabilités de prévention a lieu d'exister. La Cour des comptes, dans son rapport de 2009, souligne la possibilité de cette répartition entre deux autorités publiques. « La Cour doit pourtant souligner que l'avis des communes n'est que consultatif ; que l'Etat dispose en dernier ressort du pouvoir de décision ; que sa responsabilité peut être recherchée en cas de carence » (Séguin et Bazi-Malaurie, 2009). Il s'agira d'apprécier la délégation ou non de service, afin de déterminer qui de la personne morale « collectivité » ou de la personne physique du maire peut voir sa responsabilité engagée. Ce critère est posé par l'article 121-2, alinéa 2, du code pénal qui prévoit que « les collectivités territoriales et leurs groupements ne sont responsables pénalement que des infractions commises dans l'exercice d'activités susceptibles de faire l'objet de conventions de délégation de service public ».

Cependant, en matière de risques naturels, la mise en œuvre des pouvoirs de police général du maire sont insusceptibles de délégation (Bertrand, 2010) ainsi que les activités de police administrative et la police générale du préfet (Cass. Crim. 14 mars 2000, Mme Misson, n°99-82871, à propos d'avalanche). A raison des fautes commises, seule la responsabilité pénale en tant que personne physique peut être examinée. L'arrêt de la Cour de cassation du 14 mars 2000 relatif à une avalanche éclaire cette approche. A cette commune, poursuivie pour homicide involontaire, lui était reproché de ne pas avoir fermé la piste « malgré un risque d'avalanche existant ». Alors même que la Cour d'appel écartait la responsabilité de la personne morale, en estimant que cette action ne pouvait être susceptible de faire l'objet d'une délégation de service appartenant au pouvoir de police du maire, la Cour de cassation a eu une toute autre décision. La responsabilité de la commune a été engagée pénalement considérant que l'absence de fermeture, qualifiée d'un manquement à l'obligation de sécurité qu'elle doit en tant qu'exploitant du domaine, était constitutive d'une faute (Cans et al., 2014). La jurisprudence montre que seule la responsabilité pénale des acteurs de l'Etat, comme celle du préfet, n'est examinée qu'à raison de leurs qualités personnelles (C. pén., art. 121-2) (Cass. Crim. 2 déc. 2008, Mme Carmelita X. et autres, n°08-80066, à propos de mouvement de terrain).

Par conséquent, aux vues de la jurisprudence judiciaire, « les collectivités s'exposent au risque pénal dès lors que ne sont pas prises les dispositions nécessaires à la sécurité des citoyens en cas de survenance d'un évènement naturel » (Steinlé-Feuerbach, 2013). Ce constat doit inciter tous les acteurs concernés à faire preuve de prudence lorsque leur commune est exposée à un risque naturel. Alors même que la nature a des droits, la jurisprudence enseigne les devoirs à l'homme. Ceux-ci consistent à intervenir sur les risques naturels et à réduire les conséquences néfastes. La loi au travers de la responsabilité pénale intervient non pas pour le phénomène physique mais pour incriminer des décisions prises par les personnes publiques. Les décisions rendues par les instances juridictionnelles s'inscrivent ainsi dans une logique de répression. D'autres infractions sont susceptibles d'être sanctionnées, notamment celles relatives aux dispositions d'urbanisme en lien avec la légalité.

5.6 Résumé et conclusions

« La responsabilité administrative représente l'obligation qui incombe à l'administration de réparer les dommages causés par son action ou son inaction » (Van Lang, 2018). Pendant longtemps, les personnes morales de droit public et l'Etat jouissaient d'un « principe d'irresponsabilité ». C'est à partir de 1873 que le régime de responsabilité administrative a été construit et renforcé selon des principes toujours en vigueur.

Plusieurs conditions doivent être combinées afin d'engager la responsabilité administrative. Ces conditions, communes en droit administratif et en droit privé, construisent le schéma de la responsabilité administrative. L'imputation d'une faute à l'administration est une clause restrictive du processus de responsabilité. A cela, trois conditions s'additionnent : le fait générateur, le dommage et le lien de causalité. Le dommage, donnée de fait observable, est distinguable du préjudice, valeur juridique qui intègre les conséquences d'un dommage. Cette distinction présente les mécanismes mis en place afin de faciliter l'indemnisation du préjudice. L'établissement du lien de causalité est apprécié par le juge en employant la « théorie de la causalité adéquate ». Enfin, le fait générateur peut être considéré comme fautif ou non fautif. La distinction entre faute personnelle et faute de service permet de répartir les compétences entre les juridictions administrative et ordinaire. La responsabilité administrative requiert l'engagement d'une faute afin qu'elle soit susceptible d'être engagée. La gradation de la faute est une notion importante dans le droit administratif, bien que la jurisprudence montre une diminution du jugement pour faute lourde vers un jugement appliqué pour une faute simple. La responsabilité bâtie sur la faute constitue le droit commun de la responsabilité

administrative alors que la responsabilité administrative sans faute est définie comme exceptionnelle. Toutefois, deux fondements mettent en place ce régime sans faute, le risque et la rupture d'égalité devant les charges publiques. Enfin, la responsabilité de l'administration a la possibilité d'être atténuée, voire exonérée, par l'intervention d'une cause qui lui est étrangère : faute de la victime, fait du tiers, force majeure et cas fortuit.

Finalement, en matière de risques naturels, la détermination des responsabilités administratives reste difficile. Cette complexité est liée au fait que la responsabilité du fait des risques naturels est une responsabilité en devenir. Une ligne directrice sur les attentes du juge administratif est quand même définie à partir des jurisprudences et du cadre juridique européen. L'administration a l'obligation de protéger la vie des personnes et leurs biens (CESDHLF, art. 2 & 8 ; Protocole, art. 1) en mettant en place des moyens de protections effectifs et adaptés. Les décisions juridiques relèvent cependant des circonstances de fait et de lieu de l'événement dont les juges tiennent compte. L'administration est de plus en plus « condamnable » pour manque de vigilance sur l'ensemble des données pouvant mettre en avant l'existence d'un risque naturel. Le juge incite l'administration à avoir un regard dans sa globalité en matière de risque naturel. Elle ne doit plus se contenter d'agir après coup ou de prendre seulement en considération l'Histoire de l'événement naturel. Finalement, la responsabilité administrative sera susceptible d'être engagée pour un défaut ou un manquement dans l'exercice du pouvoir de police générale et spéciale d'urbanisme portant sur les risques naturels.

6 Analyse de la responsabilité des décideurs publics : cas du séisme L'Aquila (2009, Italie) et cas de la tempête Xynthia (2010, France)

Nous avons réalisé une lecture juridique des conséquences de deux catastrophes naturelles récentes, - la première relative au risque sismique (L'Aquila, 2009) et la seconde à propos du risque tempête (Xynthia, 2010), afin d'analyser les responsabilités engagées. Au travers de l'analyse de ces événements, nous nous interrogeons sur les mécanismes juridiques enclenchés suite à l'occurrence de ces événements, analysant les comportements des parties prenantes, à savoir les personnes publiques. Ce chapitre met l'accent sur la complexité des questions de responsabilité dans la mesure où celles-ci sont à la fois juridiques (administrative, pénale) et morales. En croisant ces différentes analyses, cette partie constitue un point d'appui majeur pour définir les fondements de la prise de décision du juge dans le domaine des risques naturels, et notamment du risque sismique.

6.1 Introduction

Selon Kervern et Rubise (1991), fondateurs de la Cindynique, le produit, l'environnement et le comportement sont les trois composantes intervenant dans la définition du risque. Cette définition complète d'une façon plus large celle plus classique qui fait appel à la notion d'aléa, de vulnérabilité et d'exposition.

Pourtant, dans un second domaine, le droit, les prises de décisions sont des éléments à considérer dans les affaires contentieuses. En effet, le droit peut sanctionner sur la base de décisions, ou de l'absence de décisions, potentiellement constitutives de fautes ayant entraîné des dommages préjudiciables ou du moins leur intensification. Cette réflexion montre la complémentarité de ces deux disciplines, sciences physiques et droit. Notre démarche interdisciplinaire tente d'apporter une représentation globale du risque naturel en intégrant autant la problématique physique (caractérisation de l'aléa, de la

vulnérabilité et du territoire) que celle du droit (caractérisation de la faute et son lien de causalité avec le fait générateur et les dommages subis afin d'engager la responsabilité éventuelle de décideurs).

Pour ce faire, le chapitre propose une lecture juridique des conséquences de deux catastrophes naturelles récentes, la première relative au risque sismique et la seconde au risque tempête, afin d'analyser les responsabilités engagées. Au travers de l'analyse de ces événements, nous nous interrogeons sur les mécanismes juridiques enclenchés suite à l'occurrence de ces événements, analysant les comportements des parties prenantes, à savoir les personnes publiques. Par cette analyse juridique la complexité de recherche des responsabilités est soulevée. En croisant ces deux retours d'expérience, cette partie constituera un point d'appui majeur pour définir les éléments sur lesquels un juge pourrait appuyer sa décision dans le domaine des risques naturels, et notamment du risque sismique.

6.2 Le cas d'un séisme : L'Aquila, Italie, 2009

6.2.1 Les faits

L'Aquila est la capitale de la région des Abruzzes située en Italie (Figure 6.1.), pays connu comme étant à forte sismicité, ayant subi des séismes historiques majeurs.

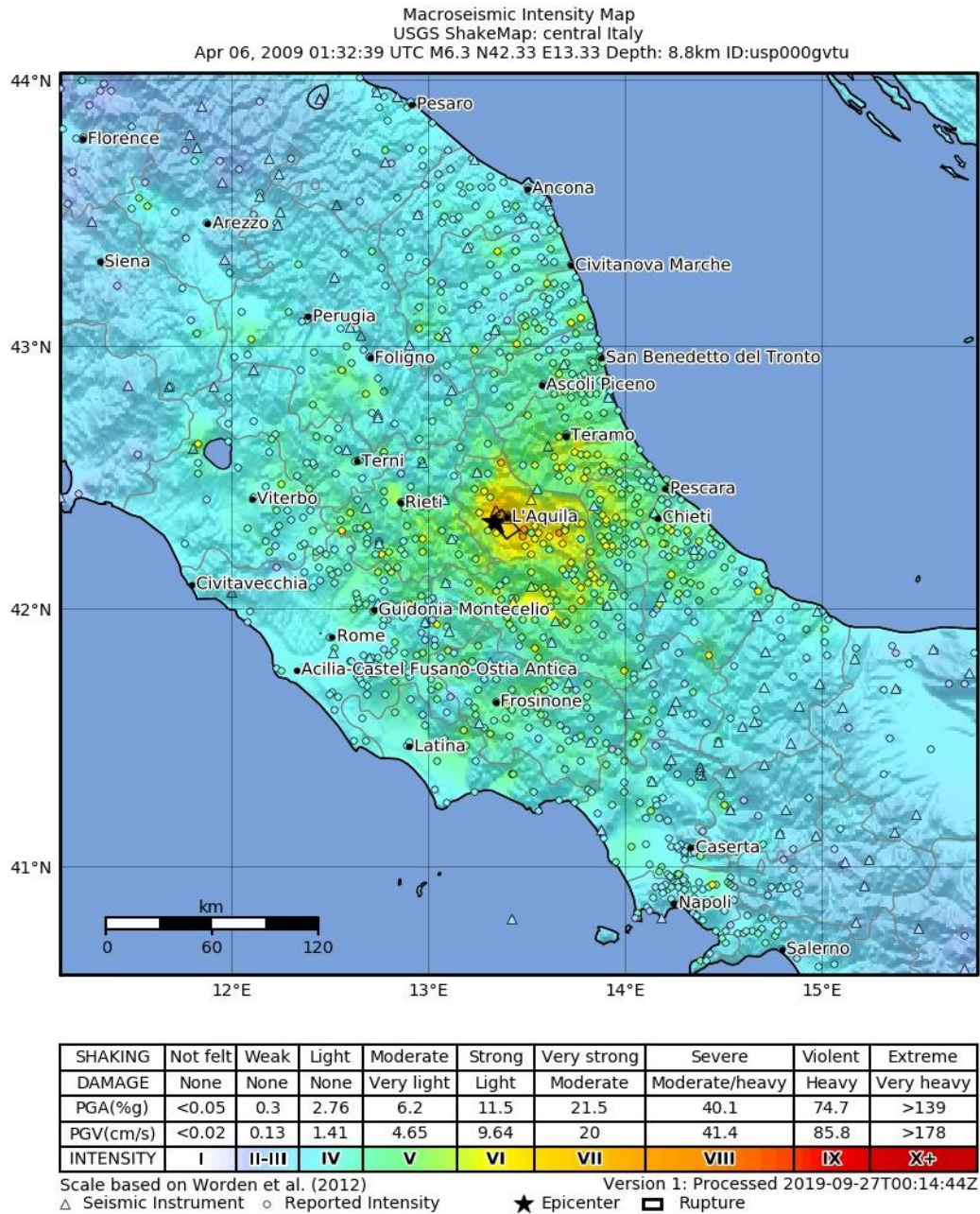


Figure 6.1. Carte géographique et des intensités macrosismiques du séisme de L'Aquila, Italie, 2009 (USGS, 2018)

En 2009, le réseau sismique national de l'INGV enregistre un regain d'activité sismique de faible magnitude dans la région de L'Aquila. Au cours de cette période, 110 séismes de $M < 2.6$ ont été détectés, dont certains ont été ressentis par la population. Deux groupes de séismes sont identifiés : d'une part, un groupe comportant peu de séismes, situé à environ 15 km au nord-ouest de L'Aquila et d'autre part, des séismes se limitant majoritairement à une zone de 4-5 km de L'Aquila (INGV, 2018). Les profondeurs hypocentrales typiques de la région varient entre 5 et 15 km. Cette sismicité peut être définie comme un "essaim" (Chiarabba et al., 2009), c'est-à-dire sans choc

principal ni répliques, mais comportant une répartition spatio-temporelle irrégulière (CGR, 2009). Toutefois, le risque sur cette zone est connu. La zone concernée a été frappée par de forts séismes historiques (Bagh et al., 2007). L'activité à L'Aquila en 2009 se situe entre la faille responsable du séisme de 1703 et la faille Ovindoli-Piani di Pezza relative au séisme de 1349 (Chiarabba et al., 2009). Au cours des dernières années, la région n'a pas été impactée par de forts tremblements de terre, et à posteriori, la communauté scientifique s'accorde pour considérer que cette séquence n'avait pas modifié la probabilité d'occurrence de forts séismes dans la région (CGR, 2009).

Début mars 2009, l'activité sismique diminue. Le 11 mars 2009, un seul tremblement de terre a été enregistré dans la région, avec une magnitude de 2.9. La Commission des grands risques (CGR) rappelle que les prévisions basées sur différents précurseurs (géochimiques/géophysiques) ne sont pas considérées comme fiables par la communauté scientifique ou ne permettent pas d'établir une prévision à court terme (Anzidei et al., 2009 relatif au déformation cosismique par données GPS ; Biagi et al., 2009 relatif aux anomalies des ondes radio ; Masci et al., 2009 relatif aux irrégularités magnétiques). Cependant, le 6 avril 2009, L'Aquila est frappé par un séisme de magnitude 6.2 (USGS, 2018). Finalement, cette séquence sismique se caractérise par un essaim, des précurseurs (Papadopoulos et al., 2010), puis un choc principal et se termine par des répliques (Chiarabba et al., 2009). Devant l'ampleur de la catastrophe, le maire de L'Aquila a été contraint de renoncer à ses responsabilités de chef de la Protection civile prévu par l'article 15 de la loi italienne n°225 de 1992 pour gérer la crise, en faveur du gouvernement national.

6.2.2 Dommages et préjudices

Le séisme de L'Aquila dévaste la ville principale de L'Aquila et ses alentours (Ameri et al., 2009) soit 558 000 personnes exposées à une intensité macrosismique supérieure à IV. Le bilan du séisme reste conséquent avec 308 décès, plus de 1500 blessés, plus de 49 000 sans-abris, environ 70 000 bâtiments endommagés et 9 400 détruits. Le coût total s'élève à plus de 5 milliards de dollars US à l'année du séisme (EMDAT, 2018). Les pertes patrimoniales sont aussi importantes. Le tremblement de terre a également suscité beaucoup d'incompréhension parmi la population vis-à-vis des phénomènes précurseurs possibles qui leur paraissaient évidents avant le choc principal mais qui semblent ne pas avoir été pris en compte pour l'anticipation de l'événement principal (Papadopoulos et al., 2010).

6.2.3 L'enquête

Le juge, avant d'aborder les questions centrales de la responsabilité pénale, ordonne une enquête afin de conduire une reconstitution analytique des événements survenus le 31 mars 2009, date à laquelle la dernière réunion de la *Commissione Nazionale Grandi Rischi* (CGR) pour la prévision et la prévention des risques majeurs s'est tenue. Cette enquête scrute les données relatives au séisme du 6 avril 2009 de L'Aquila. Elle s'attarde notamment sur le fonctionnement autant institutionnel que pratique de la CGR pendant la séquence sismique de L'Aquila, sur le déroulé de la réunion du 31 mars 2009 et les déclarations qui s'en sont suivies.

Tout d'abord, le juge d'instruction analyse les données relatives au séisme du 6 avril 2009 en considérant l'activité sismique de L'Aquila enregistrée entre juin 2008 et le 31 mars 2009, date à laquelle la réunion de la CGR s'est tenue.

La sismicité historique de la ville de L'Aquila (événements sismiques de 1349 et 1703 d'une intensité comparable à celle du séisme du 6 avril 2009) permet au juge d'instruction de définir le caractère de l'événement. Cette secousse n'est ni considérée comme exceptionnelle ni comme atypique. Selon l'analyse des mouvements du sol enregistrés, l'intensité de la secousse était comparable à celle prise en compte dans les dispositions réglementaires sur la classification de l'aléa sismique. En outre, la Cour note que le séisme du 6 avril 2009 s'est produit dans une séquence d'essai sismique commençant dès juin 2008. Cet essai a montré par la suite, à partir de janvier 2009, une augmentation significative du nombre et de l'intensité des secousses sur le territoire de L'Aquila, avec un séisme de magnitude 4.1 enregistré le 30 mars 2009. Le juge s'appuie sur le rapport d'événements du 31 mars 2009, établi par le Département de la Protection civile pour apprécier la relation entre le séisme du 6 avril et l'essai sismique. Ce rapport indique que presque tous les séismes historiques se sont produits suivant un même processus : d'abord des précurseurs, puis un choc principal pour finir par de nombreuses répliques (INGV official reports, 2009 ; Cocco et al., 2015). Le juge, de ce fait, considère cette relation comme certaine. Par conséquent, bien qu'il ne soit pas possible de prévoir avec certitude un événement futur, le juge affirme que la science et la réglementation prennent ou doivent prendre en compte l'existence de phénomènes précurseurs sismiques.

Après avoir analysé les données relatives au séisme, le juge apprécie les fonctions et les règles de la CGR : a-t-elle failli à ses devoirs ? A-t-elle rempli ses fonctions ? Dans le but de répondre à ces interrogations, il est nécessaire de rappeler dans un premier temps le droit italien afin de comprendre dans un second temps l'objectif et les fonctions de la CGR.

6.2.3.1 Rappels de la législation italienne en matière de risque naturel

Le droit italien est basé sur le système de droit civil. Le droit civil formule les principes généraux et fait référence à des règles et des procédures qui sont définies dans les codes. Lors de procès, les juges se réfèrent à ces règles pour rendre leurs jugements, ce qui leur confère une interprétation limitée de la loi. L'ensemble des juges définissant la Cour rend la décision de culpabilité selon l'infraction spécifique lors du procès devant le tribunal (Scotti, 2014).

Concernant la gestion des risques, la réponse d'urgence est organisée autour du service national de secours et d'incendie relatif à la loi n°996 de 1970. En 1982, une loi est votée permettant à la Protection civile de devenir un ministère sous l'égide du Ministère de l'Intérieur. Par conséquent, les catastrophes sont gérées par un commissaire nommé par le gouvernement (Alexander, 2002). La Protection civile a une responsabilité transversale à travers les différentes compétences ministérielles, comme la protection des personnes et des biens en mettant en place des moyens d'information (Loi n°404/01, art.5). La législation italienne crée le 24 février 1992 la loi n°225 sur « la création d'un service national de la Défense civile », conduisant à la création de la CGR (Loi n°225 du 24 févr. 1992). Cette loi cible trois types d'acteurs selon trois niveaux distincts :

- Niveau 1 : les fonctionnaires des administrations nationales, régionales et locales et les agences de protection civile qui ont pour mission la mise en place d'actions de prévention vis-à-vis du risque, la coordination en cas de crise et l'information du public.
- Niveau 2 : la CGR composée de scientifiques nommés par le gouvernement, avec comme mission l'évaluation des risques.
- Niveau 3 : les scientifiques et institutions scientifiques externes, avec comme mission le traitement de données scientifiques.

L'évolution de la réglementation italienne permet de saisir les devoirs de la CGR. La CGR est un organe consultatif de la Protection civile nationale qui a pour mission d'évaluer le risque associé en particulier à des événements naturels, et de proposer à la protection civile des actions préventives. La loi, au travers de plusieurs articles, énumère ses obligations spécifiques en termes d'évaluation, de prévision et de prévention du risque sismique :

- Loi n°225/92, art. 9, 1° énonce les tâches de la CGR, telles que « fournir les recommandations nécessaires pour définir les besoins d'analyse et de recherche en matière de défense civile, analyser les données fournies par les institutions et les

organisations chargées de la surveillance des évènements envisagés par cette loi, évaluer les risques et les actions requises et analyser toutes les autres questions considérées par cette loi » ;

- Loi n°225/92, art. 2 spécifie le type d'évènements et les domaines de compétences ;
- Loi n°225/92, art. 3 identifie les activités et les tâches de la protection civile. Les notions de prévision et de prévention sont définies. La prévision consiste en « toutes les activités visant à l'analyse et à l'identification des causes de catastrophes, à l'identification des risques associés et des zones géographiques exposées aux risques » (Loi n°225, 24 févr. 1992, art. 3). La prévention, quant à elle, comprend « toutes les activités visant à éviter ou minimiser les dommages sur la base aussi des connaissances acquises à la suite des résultats de prévision » (Loi n°225, 24 févr. 1992, art. 3).

En 1998, un décret législatif institue la décentralisation de l'administration publique en transférant la Protection civile aux gouvernements régionaux et provinciaux qui sont élus par la population locale. Le maire est placé en tant que chef exécutif de la Protection civile. En 2012, à la suite du procès de L'Aquila, la loi de 1992 a été modifiée. Cette modification est relative à la clause 2 de l'article 3 définissant la prédiction comme « toutes les activités visant à identifier les scénarios de risques probables et, si possible, à alerter, surveiller en temps réel les événements et le niveau de risque attendu ».

6.2.3.2 Fonctionnement scientifique de la Commissione Nazionale Grandi Rischi (CGR)

L'organisation de la sécurité civile italienne mobilise divers niveaux de responsabilité du système territorial (national, régional, provincial et local) pilotés par l'Etat (Varet et al, 2004). Le préfet est le chef principal en charge de la Protection Civile. Il est le représentant de l'Etat au niveau intermédiaire du gouvernement (Alexander, 2010). Dans l'affaire de L'Aquila, le gouvernement italien a fait appel à un comité consultatif d'experts, la CGR, pour aider à la prise de décision pendant cette crise.

Pour ses évaluations, la CGR s'appuie sur des données scientifiques fournies par des institutions de recherches, comme l'institut national de géophysique et de volcanologie (INGV). Des membres de l'INGV font partie de la CGR afin de faire part de leur expertise sur les risques naturels. La surveillance et l'étude des phénomènes sismiques qui se produisent en Italie font partie des tâches institutionnelles de l'INGV. Les données

et les résultats sont régulièrement soumis à la protection civile, et sont ensuite rendus publics.

6.2.3.3 Déroulé administratif de la séquence de L'Aquila

Lors de la séquence sismique de L'Aquila, l'INGV a fourni un résumé de toutes les informations et données alors disponibles sur l'aléa sismique, incluant la sismicité historique, et la séquence en cours (CGR, 2009). Les informations transmises ont confirmé que L'Aquila était et reste l'une des zones présentant le risque sismique le plus élevé en Italie (INGV, 2018).

La CGR a été chargée de fournir une évaluation scientifique de l'essai sismique et de suggérer d'éventuelles actions de protection civile. Cette commission est convoquée le 31 mars 2009 (Scotti, 2014). Etaient présents à cette réunion, d'une part, des fonctionnaires gouvernementaux en charge des actions préventives y compris l'information du public (le vice-directeur du département de la Protection civile, le directeur du centre national des tremblements de terre, le directeur du service d'atténuation des risques, le maire de L'Aquila et la responsable de la protection civile régionale), d'autre part, des scientifiques nommés membres de la CGR responsable de l'évaluation des données scientifiques (le président de la CGR volcanologue, le président de l'INGV géophysicien, la directrice du centre européen de formation et de recherche en génie parasismique EUCenter ingénieure, et enfin un scientifique non officiellement invité fournissant aussi des données scientifiques (le directeur du centre national des tremblements de terre, sismologue) (Cartlidge, 2012 ; Scotti, 2015).

Deux raisons ont été à l'origine de la réunion de la CGR le 31 mars 2009. Premièrement, la population de L'Aquila se trouvait dans une situation de grande incertitude, déterminée non seulement par l'essai sismique, mais aussi par la diffusion de messages non-officiels alarmistes. Deuxièmement, pendant cette séquence sismique, les médias locaux ont publié de nombreux articles rassurants, rapportant souvent des interviews de scientifiques d'une manière simplifiée (Alexander, 2010 ; Jordan and Jones, 2010 ; Strina, 2016). Par conséquent, la CGR s'est tenue à L'Aquila afin de fournir à la population un cadre d'information valable, complet et fiable du point de vue scientifique sur le risque sismique et l'évolution possible du phénomène en cours, capable de contrer efficacement les messages alarmistes qui, bien que manquant de crédibilité scientifique, se répandaient dans la population (Sentenza n°380/2012, relative aux motivations de la décision du juge) (Alexander, 2010 ; 2014a ; Jordan and Jones, 2010 ; Scotti, 2014). La réunion est convoquée afin de réaliser « un examen minutieux des aspects scientifiques et de protection civile de la séquence sismique des quatre derniers mois dans la province

de L'Aquila en culminant avec le séisme de magnitude 4.0 du 30 mars » (Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2009).

Le procès-verbal public de la réunion fait état des avis scientifiques. Y est mentionné premièrement que les essais sismiques se produisent généralement sans provoquer de tremblement de terre dommageable, et que l'Italie a déjà connu des séquences de ce type. Deuxièmement, bien qu'un séisme dommageable à court terme soit peu probable, cette possibilité ne peut être exclue, car L'Aquila se trouve dans une région où il existe de nombreuses failles capables de provoquer des tremblements de terre. Enfin, L'Aquila se trouve dans la zone la plus élevée du zonage sismique de l'Italie et, par conséquent, l'action la plus importante consiste à renforcer les bâtiments qui sont vulnérables au risque sismique déjà identifié (CGR, 2009 ; INGV, 2009). La déclaration se veut rassurante auprès des acteurs locaux et de la population (Campillo et al., 2015)

Les déclarations faites en marge de la réunion sont un élément important dans l'enquête. C'est précisément sur ce point que le juge d'instruction introduit la question de la violation des obligations d'information directe de la population en contestant les moyens utilisés par la CGR (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013). Il s'oppose d'une part, au fait que la réunion ait eu lieu à L'Aquila permettant ainsi l'accès et la présence de différentes personnes non nommées par le gouvernement. Cette action rend alors la discussion publique sans contrôle au préalable. D'autre part, il s'oppose à la participation à la conférence de presse à l'issue de la réunion qui a contribué à désinformer la population.

6.2.4 Les fautes retenues et les responsabilités pénales engagées

Le système pénal italien et le système pénal français sont issus de la même origine. Il n'y a pas de différence fondamentale au niveau de la phase de jugement. En Italie, la fonction judiciaire relève des juridictions pénales et civiles ordinaires. Le juge judiciaire juge tantôt au pénal, tantôt au civil ou les deux au tribunal ordinaire. Le procès pénal en Italie, comme en France, est de type accusatoire, c'est-à-dire que le jugement et l'accusation ne sont pas dispensés par le même organe (Sénat, 2020). A la différence de l'Italie, la France adopte une procédure inquisitoire au moment de l'instruction.

Les procédures juridiques relatives à L'Aquila se comptent au nombre de trois appelant toute la juridiction judiciaire (Figure 6.2.). Sur la Figure 6.2., les flèches représentent les renvois dans les instances suivantes suite aux décisions prises afin de recouvrir à toute instance. Dans le cas de L'Aquila, seule l'instance judiciaire a été appelée.

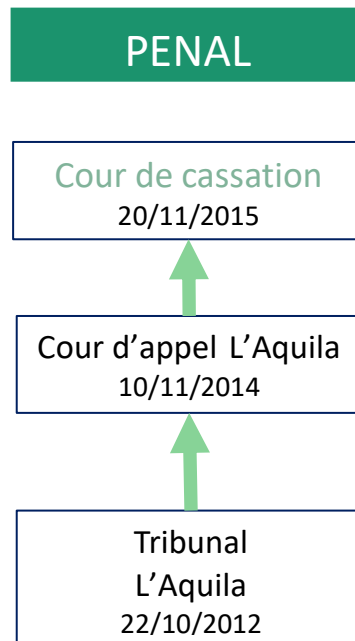


Figure 6.2. Schéma des instances juridiques dans l'affaire de L'Aquila, 2009

6.2.4.1 La procédure pénale

La première procédure débute en 2011 par le Tribunal de L'Aquila statuant au pénal. La responsabilité pénale questionne principalement l'analyse de la faute et l'évaluation du lien de causalité avec les événements dommageables. Une fois déterminé le caractère des fautes par le juge pénal, c'est ce même juge qui examine la réparation des préjudices.

Dans un premier temps, le tribunal pénal est appelé pour répondre à la plainte déposée contre la CGR par un comité de citoyens, à la suite du bilan du séisme et des déclarations faites par la CGR elle-même. Cette déposition a été jugée recevable par le procureur de la ville, ce qui lui a permis d'ouvrir une enquête sur la situation de L'Aquila (Atlani-Duault et Dufoix, 2014).

En 2011, le tribunal de L'Aquila poursuit les membres de la CGR dans le but d'évaluer la responsabilité éventuelle dans la mort des victimes du séisme du 6 avril 2009 (Alexander, 2014a). Cette plainte reproche l'homicide involontaire, la mise en danger délibérée d'autrui et le manquement d'information. Sur la base du droit réglementaire, le juge motive sa décision à raison des obligations spécifiques et précises des membres de la CGR concernant la prévention et la prévision des différentes hypothèses de risques, l'évaluation des risques et le devoir d'information (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). Le juge centre ainsi son attention sur l'article 3 de la loi 225 de 1992 (Scotti, 2014). Dans cet article, les tâches de service de la Protection Civile sont définies ainsi que l'obligation légale de la CGR à

fournir un avis compétent sur les deux tâches spécifiques à savoir de prédiction et de prévention (Loi n°225, art. 3, 2° et 3°). Toutefois, la clause 2 est dite ambiguë puisqu'elle ne nécessite pas explicitement la prédiction de l'aléa naturel en tant qu'aléa physique mais elle nécessite néanmoins la prédiction des conséquences. Lors du procès, n'ont été examinés que le comportement des accusés lors de la réunion du 31 mars et leurs évaluations ainsi que leurs décisions prises pendant et après cette réunion, lorsqu'ils ont rendu publique les conclusions (Scotti, 2014). Le tribunal s'est appuyé sur une analyse des fonctions spécifiques des membres de la CGR, y compris ceux qui ont été nommés par la Commission en tant qu'experts externes (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). La question posée par le Tribunal est de savoir si les actions ont été exécutées en conformité à la loi italienne. Afin d'y répondre, la Cour s'est d'abord référée à l'opinion des experts en sismologie hautement qualifié. Puis, elle a mené ses propres investigations sur les actions, les déclarations et les communications à la presse lors de la réunion de la CGR. Enfin, la Cour s'est appuyée sur tous les éléments factuels qui pouvaient être liés à la décision prise par les victimes de rester chez elles la nuit du 5 au 6 avril 2009 (Galluccio, 2014 ; Scotti, 2014).

L'accusation principale portée par le procureur aux accusés en tant que membres de la CGR est d'abord l'incapacité d'évaluer correctement tous les éléments liés à l'activité sismique en cours, puis la non-conformité de l'évaluation vis-à-vis des règles spécifiques de l'Etat (Alexander, 2010 ; Alemanno et al., 2014 ; Scotti, 2015). Concernant l'opinion des experts (Professeur Decanini, M. et Mme. Liberatore, tous conseillers techniques du Premier ministre) appelés au procès (Scotti, 2014), il en ressort que le séisme ne pouvait pas être considéré comme un événement anormal, ni sur la base des données accélérométriques enregistrées, ni sur la base de l'histoire sismique de la région qui étaient en accord avec la carte d'aléa sismique de l'INGV de 2004 (Scotti, 2014). Selon le juge, l'utilisation de ces données scientifiques permettait de faire une analyse plus complète des événements afin d'évaluer le risque auquel la population était exposée. A ce stade-là, l'incapacité de prédire un séisme est réfutée par le juge. Le tribunal se réfère à des dispositions plus générales de la loi qui impose la prudence dans l'accomplissement des tâches spécifiques, telles que celles assignées par l'Etat aux membres de la CGR (Arcuri and Simoncini, 2015). Ici, les accusés étaient assignés à effectuer un exercice d'évaluation des risques qui n'a pas été fait précisément, ce que retient le Tribunal comme charge. Toutefois, le tribunal reconnaît le caractère imprévisible du séisme du 6 avril 2009 (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). Le juge ne se réfère plus à une prédiction manquée par les membres de la CGR mais à l'échec à donner un avertissement adéquat ayant entraîné la mort des personnes.

L'accusation du Tribunal de première instance porte ensuite sur le comportement des membres de la CGR du 31 mars 2009, lorsqu'ils se sont réunis à L'Aquila "dans le but de fournir aux citoyens des Abruzzes toutes les informations dont dispose la communauté

scientifique sur l'activité sismique des dernières semaines". En analysant le comportement fautif des accusés, le tribunal examine le caractère d'omission. Le Tribunal rappelle que loin de juger les scientifiques pour ne pas avoir prévu le séisme, la tâche du juge est de vérifier si le comportement des accusés lors de la réunion du 31 mars 2009 était pertinent et conforme aux devoirs de prévision, de prévention et d'analyse des risques imposés à la CGR par la législation, et s'il était ou non adéquat et conforme au patrimoine scientifique et cognitif commun de ses membres (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). Le juge affirme que le jugement de prévisibilité qui fonde l'existence de la faute ne doit pas être mesuré sur le séisme en tant qu'évènement naturel (imprévisible et inévitable), mais sur le risque en tant que prévisions des conséquences. Le but est de protéger l'intégrité des vies, des biens, des établissements et de l'environnement contre les dommages résultant de catastrophes naturelles (Loi n°401/01, art. 5). L'analyse du risque doit ainsi être évaluée sur la base des informations pertinentes données à la population. L'appréciation de l'empêchement du risque (c'est-à-dire la réduction de l'exposition aux conséquences néfastes) devait également être liée non pas à l'absence d'avertissement d'un événement majeur imminent, mais à l'analyse incorrecte et inadaptée des indicateurs de risque et à un manque d'information. S'il est vrai que la science ne peut pas prédire un séisme, il est tout aussi vrai que les données et les connaissances dont disposaient les accusés auraient dû, selon le juge, leur permettre de faire une évaluation fondée de la prévisibilité du risque, qui leur a échappé, et de fournir des informations complètes qui auraient contribué à prévenir les décès ou les blessures de nombreuses personnes (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). En cela, le juge rappelle que les accusés n'étaient pas à L'Aquila en tant qu'experts à qui l'on avait demandé un avis, mais en tant que membres de la CGR, un organe établi par la loi avec des fonctions spécifiques de nature consultative, « proactive », informative pour la prévision des risques et la prévention des conséquences.

Le juge a retenu les fautes de négligence, d'imprudence et d'inexpérience, une violation des dispositions légales régissant la CGR ainsi qu'un manquement dans les activités d'information et de communication auprès des administrations publiques (Loi n°225/92, art. 2, 3 et 9 ; Loi n°401/01, art. 5 et 7 bis ; Loi n°21/06, art. 4 ; Décret du Premier ministre n°23582/06, art. 3 ; Loi n°150/00). Le Tribunal conclut que, lors de la réunion du 31 mars 2009, l'analyse du risque sismique réservée aux membres de la CGR était approximative, générique et inefficace, ce qui reflète une superficialité et une méconnaissance des devoirs légaux appartenant aux membres de la CGR (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). Il note que les accusés n'ont pas utilisé de manière adéquate toutes les données dont ils disposaient pour l'évaluation et la prévision des risques, afin d'orienter l'interprétation dans le sens de la prévention et de l'information correcte. Ainsi, au cours de ce procès, le tribunal statue sur l'évaluation du risque sismique qui a été confiée aux membres de la CGR. Elle nécessitait une analyse et une recherche globales de la corrélation entre tous

les indicateurs de risque, en tenant compte des données statistiques historiques, scientifiques, cognitives, disponibles au 31 mars 2009. Les membres de la CGR, de par leur expertise, devaient être capables de surmonter la fragmentation des données disponibles, dont chacune, considérée individuellement, peut ne pas être alarmante. Toutefois, le tribunal a également estimé que la preuve de négligence ne suffisait pas à engager la culpabilité des accusés pour homicide involontaire (Scotti, 2014) car il faudrait alors établir un lien de causalité entre le comportement des victimes et celui des accusés (C. pén., art. 40).

Enfin, le juge examine le lien de causalité entre les informations émises par la CGR suite à la réunion du 31 mars 2009 et le comportement des victimes le soir de l'événement. L'établissement du lien de causalité est mené en reconstruisant le processus de motivation qui a conduit les victimes à choisir de rester dans leur maison la nuit de l'évènement. Sont analysés, premièrement, le comportement des victimes avant la réunion du CGR du 31 mars 2009 au cours des séismes antérieurs à l'évènement principal, deuxièmement, la connaissance par les victimes des résultats de la réunion, et troisièmement, le comportement des victimes après qu'elles aient pris connaissance des conclusions de la réunion (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°380/2012, sentence relative aux motivations de la décision du juge). Ces analyses ont été menées afin de déterminer si et dans quelle mesure le message fourni par la CGR a influencé les victimes, les incitant, contrairement aux habitudes de précaution établies et ancrés fortement dans leur esprit, à rester chez eux la nuit de l'évènement du 6 avril 2009, même après les deux événements précurseurs de moindre magnitude. La preuve du lien de causalité entre le comportement des accusés et les conséquences ne peut être considérée comme acquise qu'à la condition que ce lien soit certain (c'est-à-dire avec un degré élevé de probabilité logique), ou en d'autres termes que les informations rassurantes fournies par la CGR le 31 mars 2009 aient été reçues par les victimes et aient été la cause unique et déterminante du changement de comportement adopté lors d'évènements précédents. En raison de la déclaration "La communauté scientifique continue de me dire que la situation est favorable et qu'il y a une décharge d'énergie" diffusée à plusieurs reprises à la télévision locale, la population locale a modifié son comportement et est restée à l'intérieur de ses maisons. Le juge soutient que, suite aux deux séismes qui ont eu lieu trois heures avant le choc principal, la tradition ancestrale aurait conduit la population à évacuer ses habitations si cette déclaration n'avait eu lieu. Le Tribunal affirme que, bien que la déclaration ci-dessus ait été faite avant la réunion, les conclusions de la réunion n'ont pas contredit son contenu, de sorte que tous les accusés sont coupables de collaboration négligente. Le Procureur considère que la CGR a sous-estimé l'essaim sismique de plusieurs mois qui représentait une "véritable" source de risque, en raison de l'existence d'une importante sismicité historique (T. L'Aquila, 22 oct. 2012, n°253/10 R.G.N, relatif à l'acte d'accusations du procureur, 2012).

Le juge poursuit en rappelant que les accusés étaient conscients de leur position en tant que source qualifiée et officielle d'informations envers la population. La population s'attendait à ce que les conclusions de la réunion fournissent une image complète et précise de la situation sur laquelle elle pouvait fonder ses comportements quant à rester ou quitter les domiciles la nuit de l'évènement. Mr. Ciccozzi, expert auprès des tribunaux, a été chargé d'analyser la communication scientifique des membres de la CGR et la façon dont elle a été perçue et traduite dans le comportement de la population. Il conclut que leur communiqué a incité la population à sous-estimer le risque, avec les conséquences que l'on connaît (Ciccozzi et Clemente, 2013). Le Tribunal conclut sur le comportement négatif des accusés, ayant contribué à l'augmentation de deux composantes du risque sismique, la vulnérabilité et l'exposition. Leur propos a interféré sur le processus de motivation des victimes à rester chez elles la nuit de l'évènement. Leur responsabilité pénale est retenue en première instance pour faute professionnelle et preuves de négligence et d'imprudence. Ils sont condamnés le 22 octobre 2012 à six ans d'emprisonnement en première instance.

6.2.4.2 La procédure pénale en appel

Chaque décision du Tribunal a fait l'objet d'un appel pour lequel la décision de la Cour d'appel de L'Aquila a été rendue le 10 novembre 2014. La Cour distingue les membres officiels des non officiels à la CGR (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013). La Cour d'appel de L'Aquila déclare que « les accusés ne pouvaient pas se voir attribuer les mêmes obligations établies par la loi que les membres officiels de la CGR » (<https://processoaquila.files.wordpress.com>). La Cour d'appel rappelle aussi que les membres n'ont en aucun cas été mandatés pour prévoir les risques mais seulement analyser et évaluer la situation en cours, d'après la loi n°225. Assurément, la Cour a reconnu la seule tâche assignée, celle de l'ordre du jour de la réunion qui est « d'analyser en profondeur les aspects scientifiques et les éléments connexes de la Protection Civile concernant les chocs sismiques apparus au cours des quatre derniers mois dans les Abruzzes et à L'Aquila » (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013). Les conclusions de la réunion ont été jugées en adéquation avec ce qui leur était demandé. Par conséquent, la preuve de négligence n'est plus retenue. La nature de la responsabilité engagée est donc modifiée (Galluccio, 2014 ; Scotti, 2015).

Par ailleurs, aucune fonction d'information auprès de la population sur la probabilité d'occurrence d'un séisme ne leur a été attribuée. Les scientifiques nommés à la CGR et invités n'avaient annoncé aucune information officielle et n'avaient divulgué aucun détail sur le contenu de la réunion. Seul le vice-directeur du département de la protection civile avait transmis des informations rassurantes à la population, à partir d'un socle

scientifique incorrect au travers de mauvaises déclarations. Dues à ces informations inadaptées, la population a été convaincue qu'aucun nouveau séisme n'était prévu (Scotti, 2015).

Concernant l'existence d'un lien de causalité, la Cour d'appel a réexaminé l'éventuelle existence du lien entre les comportements des victimes et les annonces des accusés. L'évaluation s'appuie sur une investigation d'événements réels et des possibles changements de comportements des victimes suite aux conclusions de la réunion du 31 mars 2009. Les preuves évaluées sont les mêmes que celles examinées dans le tribunal pénal (Scotti, 2014). La Cour retient l'absence de lien de causalité entre les informations issues de la réunion du 31 mars 2009 et le comportement des victimes.

Par conséquent, la Cour d'appel réfute le verdict rendu en première instance : les scientifiques sont acquittés mais le vice-président du département de la protection civile, représentant un fonctionnaire du gouvernement, reste condamné pour négligence en raison de ses commentaires rassurants sur le risque de survenance d'un séisme faits à la population.

6.2.4.3 La Cour de cassation

Finalement, le 20 novembre 2015, la Cour de cassation italienne a confirmé l'innocence des scientifiques, en relation avec les événements du tremblement de terre de L'Aquila et la réunion de la Commission des grands risques du 31 mars 2009. Dans le jugement définitif, la Cour suprême a rejeté tous les appels des plaignants, confirmant ainsi le verdict de la Cour d'appel du 10 novembre 2014 : les scientifiques ont été relaxés. Cependant, la condamnation du vice-directeur du département de la protection civile au moment des événements a été confirmée en ce qui concerne certaines des victimes.

6.2.5 Etapes du processus décisionnel du juge vis-à-vis des responsabilités pénales

La décision des juges concernant la responsabilité des membres de la CGR est synthétisée Figure 6.3. Cette séquence montre l'importance de la place des experts au sein d'une prise de décision. La séquence de L'Aquila illustre les points de vigilance au cours d'une décision. La communication et l'information doivent être justes et proportionnées à la connaissance des phénomènes. L'identification du risque, c'est-à-dire sa nature, est une variable essentielle. L'imprévisibilité de l'aléa doit être définie au préalable par les experts afin que les décideurs locaux puissent prendre des mesures de

sécurité et de protection. Les conclusions de l'expertise scientifique doivent les aider à définir leurs actions sans que le scientifique n'intervienne dans cette prise de décision. En aucun cas, le décideur et le scientifique sont solidaires.

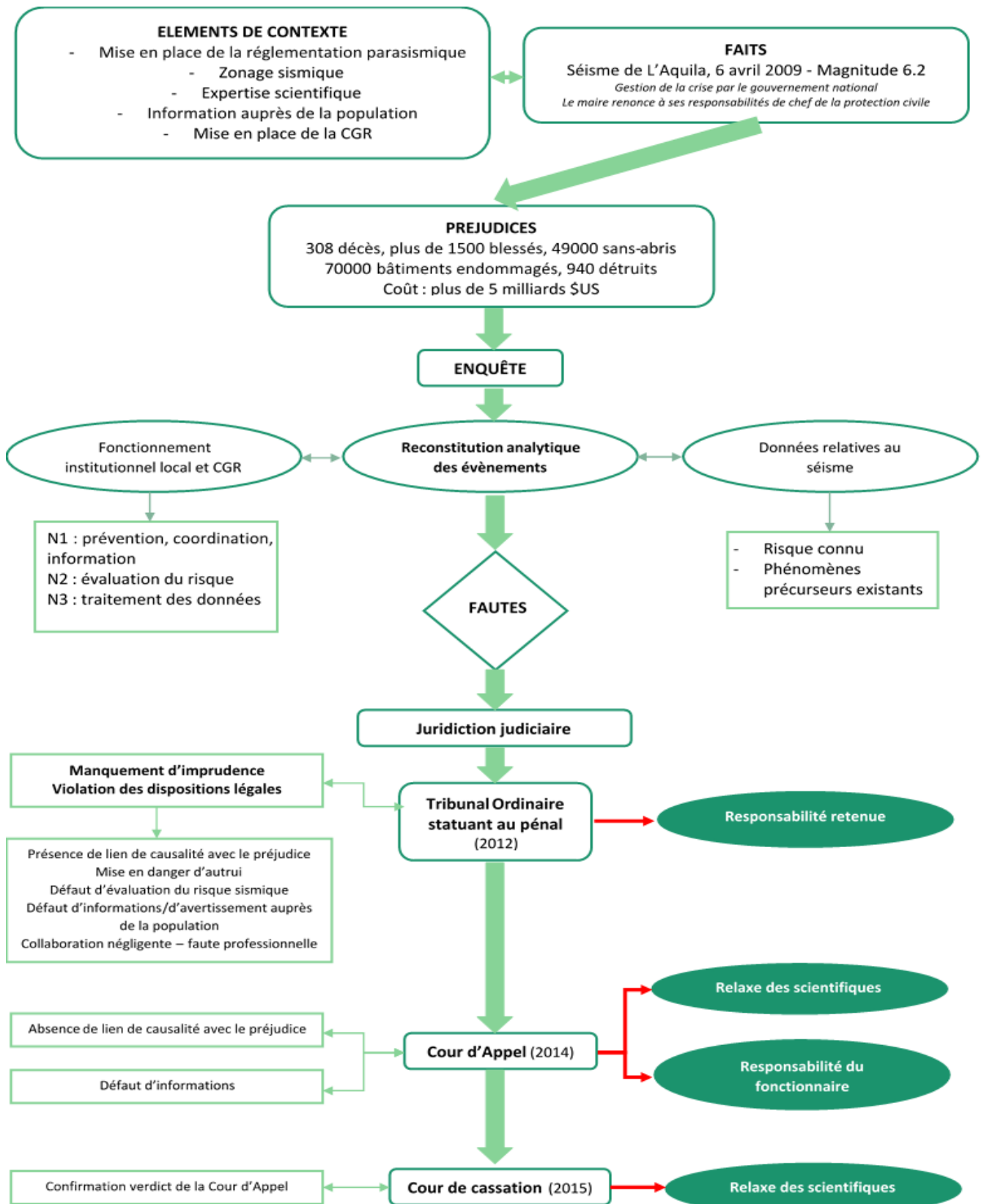


Figure 6.3. Logigramme de décision de la responsabilité dans le cas du séisme de L'Aquila, Italie, 2009

La situation vécue à L'Aquila à la suite du séisme du 6 avril 2009 est sans précédent dans les domaines scientifique et juridique des risques naturels. Les scientifiques peuvent jouer le rôle d'expert face aux risques naturels, rôle cependant de plus en plus compliqué à effectuer face à l'immersion immédiate des moyens de communication (Campillo et al., 2015). Leur connaissance et leur savoir-faire participent à la prise de décision politique. Toutefois, la place des experts dans les décisions politiques a ses limites comme le soulignent Tifine (2013) et Campillo et al. (2015). Les réunions d'experts ne conviennent pas dans les situations de crise où les demandes de recommandations ont un caractère d'urgence. La catastrophe de L'Aquila le confirme, donnant à réfléchir sur la valeur et l'utilisation des mots lors des actions de communication, axés d'une part sur les intérêts d'ordre public et utilisés, d'autre part, à destination d'un public non averti. Le comité d'éthique scientifique du CNRS rappelle que « l'exploitation des conclusions de l'expertise n'appartient pas à l'expert scientifique, mais au décideur politique. Les scientifiques n'ont pas à être solidaires des décisions prises à partir d'un ensemble d'information dont leur expertise n'est qu'un élément. L'expert doit conserver un pouvoir de contrôle sur le contenu de son expertise, qui ne doit pas être dénaturé dans sa présentation au public » (COMETS, 2013).

La Figure 6.4. illustre le comportement des scientifiques et les poursuites auxquelles ils s'exposent, appliqué au cas de L'Aquila traduit au contexte français. Comme le COMETS (2013) le rappelle, l'expert peut apporter des informations essentielles à la prise de décision mais en aucun cas en faire partie. S'il existe un manquement dans sa mission d'expertise, l'expert peut voir sa responsabilité administrative engagée, dans ses deux grands domaines d'intervention : la caractérisation du risque et la communication. Concernant la caractérisation du risque, le scientifique précise l'aléa local, définit le territoire exposé et détermine les vulnérabilités existantes sur ce territoire. Il peut également caractériser les potentielles conséquences. Dans son évaluation des risques, le scientifique aide le décideur en lui fournissant des données essentielles à la gestion du risque, celle-ci appartenant au décideur. Concernant la communication, le scientifique doit rendre ses conclusions sans les exploiter et en étant le plus juste possible.

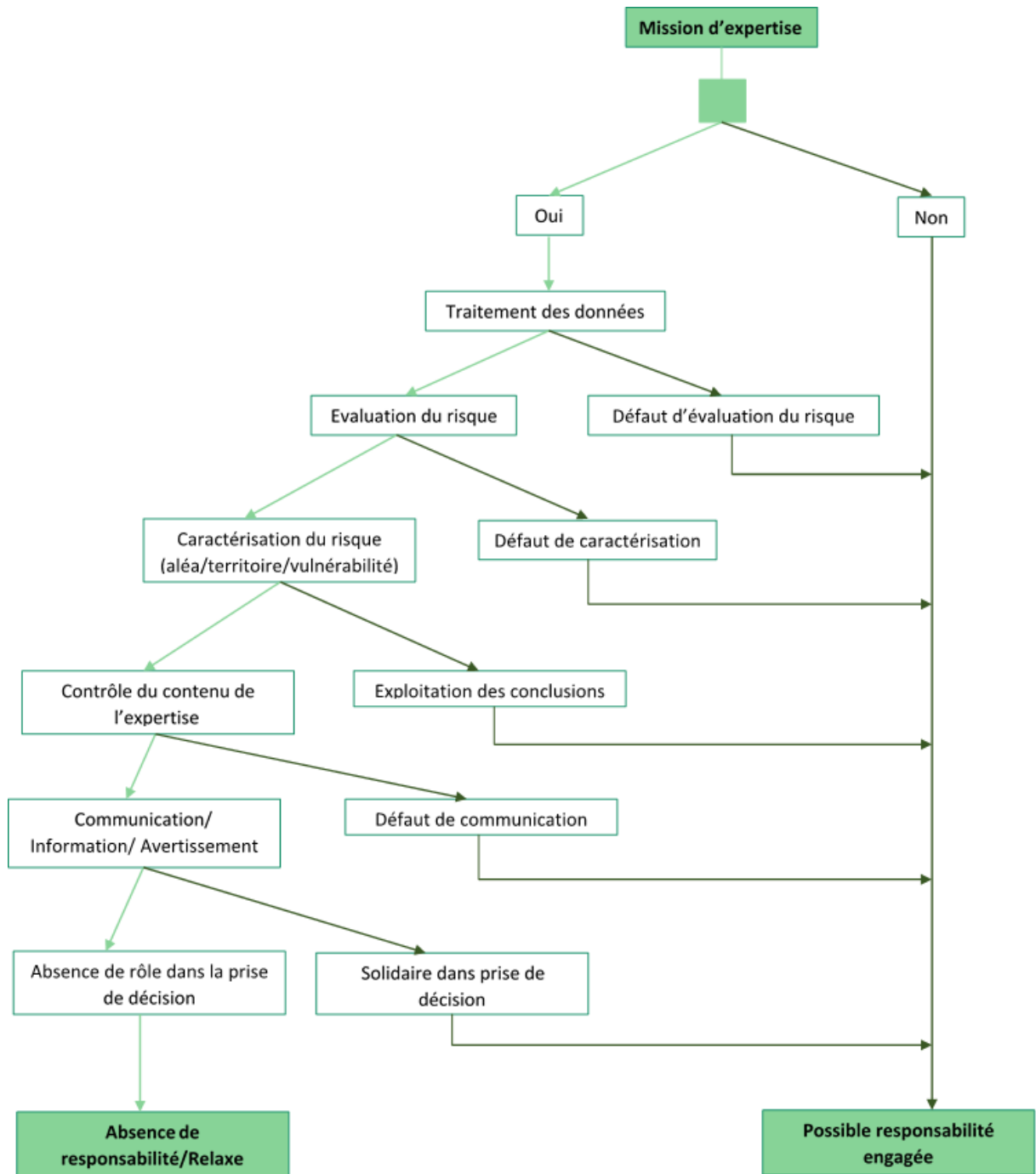


Figure 6.4. Arbre décisionnel des scientifiques en tant qu'agents administratifs permettant d'énumérer les décisions pouvant engager la responsabilité. Les flèches vert foncé représentent une décision défavorable. Les flèches vert clair représentent une décision positive.

6.3 Le cas d'une tempête : Xynthia, France, 2010

6.3.1 Les faits

La tempête Xynthia a fortement impacté les côtes atlantiques françaises, notamment charentaises et vendéennes dans la nuit du 27 février 2010. Elle est qualifiée comme une des plus meurtrières en France. La tempête s'est déroulée sur un temps très court en combinant de forts coefficients de marée, des pleines mers et des vitesses maximales de vent, ce qui a provoqué des effets de surcote (Figure 6.5.). Des submersions se sont produites par l'engouffrement de la mer dans l'estuaire du Lay. Due à ces submersions, aucune rupture de la digue sur la commune de La Faute-sur-mer n'a été observée. Seule la brèche dans la dune du côté de l'océan a été recensée. La somme de ces deux éléments a participé à l'inondation de la zone urbaine (Laronde-Clérac et al., 2015). Par conséquent, même si, sur le plan météorologique, la tempête ne peut être qualifiée d'inédite, elle est caractérisée comme rare du fait de plusieurs facteurs aggravants (Anziani, 2010a ; 2010b ; 2010c).



Figure 6.5. Cartographie de la tempête Xynthia, France, 2010 et localisation des zones les plus touchées (Météo France, Eumetsat, AFP dans Przulski et Hallegatte, 2013)

6.3.2 Dommages et préjudices

Bien qu'au sens large, les notions de dommage et de préjudice soient synonymes « permettant d'ouvrir droit à la réparation si le dommage est certain et direct, au sens strict le dommage est distinct du préjudice qui correspond à la conséquence du dommage, défini comme le fait brut à l'origine de la lésion affectant la personne » (Guinchard et Debard, 2020).

La tempête Xynthia a provoqué un bilan économique et humain lourd avec 47 morts dont 29 victimes à la Faute-sur-Mer, 79 blessés et plus de 2.5 milliards d'euros de dommages directs dont 1.5 à la charge des assureurs (Przulski et Hallegatte, 2013 ; Laronde-Clérac et al., 2015). Il convient de rajouter les destructions et les pertes associées à l'agriculture, domaine couvert au titre de l'assurance catastrophes naturelles.

L'indemnisation s'élève à 10% du montant des dommages. Ceux non couverts par le régime CatNat, sont indemnisés jusqu'à 75% par le Fonds national de garantie des calamités agricoles du Ministère de l'agriculture (Anziani, 2010c).

6.3.3 L'enquête

6.3.3.1 Contexte réglementaire et juridique

Les acteurs ayant participé à cette séquence ont un rôle bien encadré juridiquement (Rainaud, 2019). Rappelons les textes essentiels tels que :

- Le code général des collectivités territoriales : détermination du pouvoir de police des maires afin d'éviter les catastrophes.
- Le code de l'urbanisme et – notamment - l'article R. 111-2 qui permet de statuer sur la délivrance d'un permis de construire « sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales s'il est de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique du fait de sa situation, de ses caractéristiques, de son importance ou de son implantation à proximité d'autres installations ».
- Le code de l'environnement et notamment l'élaboration des Plan de Prévention des Risques Naturels prévisibles (PPRNP).

De ce fait, il existe tout un panel d'outils permettant de prévenir le risque, de le gérer sur la base d'une connaissance partagée de ce risque.

6.3.3.2 Déroulé administratif de la séquence de Xynthia à la Faute-sur-Mer

Météo-France lance la première alerte le samedi 27 février 2010 après-midi en insistant sur la violence des vents. Cependant, l'évocation du risque inondation dans la zone touchée n'est pas annoncée. Suite à cela, les services préfectoraux ne diffusent pas d'instructions précises quant à l'évacuation aux maires ou aux populations concernées au moment de la diffusion des messages d'alerte. Bien qu'ayant reçu deux alertes du préfet, le maire de La Faute-sur-Mer n'estime pas utile de prévenir la population de la tempête. En d'autres termes, l'absence d'anticipation des pouvoirs publics avant la catastrophe

n'est pas une conséquence de la prévision mais plutôt une mauvaise représentation (ou une méconnaissance) du risque (Przyluski et Hallegatte, 2013 ; Laronde-Clérac et al., 2015). Pour autant, plusieurs documents d'urbanisme signalent l'existence d'un risque d'inondation (DDRM, SDAGE et PPRI). Le risque de submersion de période de retour d'une trentaine d'années était également connu, sans conscience particulière des élus, sur un espace dont l'exposition n'a cessé d'augmenter ces dernières années.

Des décisions antérieures et au moment de l'événement montrent la mise en cause de l'urbanisation du littoral (Chauveau et al., 2011). Le développement urbain, lié au développement du tourisme balnéaire, a fortement participé aux conséquences de la catastrophe. En outre, l'activité agricole en perte de vitesse n'a pas aidé puisque l'urbanisation s'est diffusée aux terres des marais et le long des dunes. La transformation de la composition socio-professionnelle des membres des conseils municipaux par des personnes ayant des intérêts liés au tourisme a aussi favorisé l'urbanisation sans régulation et son développement s'est fait au détriment de la protection du milieu naturel. « La vulnérabilité de ces communes est donc à relier à la difficulté de faire admettre un outil de régulation tenant compte des configurations géographiques et des secteurs exposés à l'aléa naturel » (Chauveau et al., 2011).

Force est de constater aussi que les dispositifs préventifs semblent inadaptés. Seules 5% des communes littorales avaient un plan de prévention du risque inondation (PPRI) approuvé au moment de la tempête Xynthia. Le PPRI de La Faute-sur-Mer avait été approuvé le 8 juin 2007 définissant les zones constructibles. Par ailleurs, la commune de La Faute-sur-Mer n'avait pas mis en place le plan communal de sauvegarde (PCS) obligatoire depuis la loi du 13 août 2004.

La question de la responsabilité des élus locaux se pose alors. En effet, dans le cadre de ses pouvoirs de police générale, le maire doit prévenir par « des précautions convenables... les accidents et les fléaux calamiteux ainsi que les pollutions de toute nature, tels que les incendies, les inondations, les ruptures de digues, les éboulements de terre ou de rochers, les avalanches ou autres accidents naturels... » (CGCT, art. L. 2212-2-5°). Bien d'autres obligations, en particulier celle d'informer les habitants sur les risques auxquels la commune est exposée ou encore celle d'établir un PCS, sont indissociables de la fonction de maire. L'enquête menée par le juge montre la non-réalisation de documents d'information demandés par le préfet (DICRIM) et le non-respect des priorités édictées par une étude pour les travaux de la digue.

Selon le juge judiciaire, le maire n'a pas assumé ses fonctions. La première adjointe présidant la commission d'urbanisme, qui délivre les permis de construire, a également failli. Les services de l'Etat, quant à eux, ne jouent un rôle qu'au second plan dans le domaine judiciaire même si le préfet exerce des pouvoirs primordiaux en matière de prévention des risques. Les services de l'Etat avaient mis en place le dossier départemental des risques majeurs (DDRM) en 1995 et le PPRI en 2001. Dans le DDRM établi par le représentant de l'Etat, le préfet de la Vendée, et communiqué à la commune

de La Faute-sur-Mer, il était mentionné l'existence des trois risques majeurs naturels sur la commune : les feux de forêt, l'inondation terrestre et maritime. Dans le PPRI, des zones à urbaniser ont été autorisées, et les services de l'Etat, i.e. la direction départementale de l'équipement, a favorisé l'obtention des permis de construire non conformes aux préconisations du PPRI. Enfin, l'atlas de submersion marine indiquait l'exposition de la « digue Est » de La Faute-sur-Mer la situant en zone d'aléa fort (Rainaud, 2019). Toutefois, ce service n'a pas de pouvoir de décision, il n'est donc pas exposé à des poursuites pénales.

6.3.4 Les fautes retenues et les responsabilités engagées

Il faut préciser que dans le cas français de la tempête Xynthia, les procédures destinées à engager la responsabilité de personnes publiques (maire et élue chargés de l'urbanisme) et morales (services de l'Etat) ont été nombreuses. Elles ont concerné à la fois les juridictions judiciaires (contentieux pénal et civil) et administratives. Selon la nature de la faute et le lien de causalité, la juridiction judiciaire (pénale) ou la juridiction administrative seront concernées. La première procédure débute en 2014 par le Tribunal correctionnel des Sables d'Olonne du fait de la plainte déposée contre X. Cette plainte reproche l'homicide involontaire (C. pén., art. 221-6), la mise en danger délibérée d'autrui (C. pén., art. 223-1), l'abstention de combattre un sinistre (C. pén., art. 223-7) et la prise illégale d'intérêts (C. pén., art. 432-12). Une fois le caractère des fautes retenu par le juge pénal, le juge administratif devient alors compétent concernant l'examen de la réparation des préjudices en raison de la nature de la responsabilité administrative (pour faute non détachable du service) (Rainaud, 2019). L'ensemble des instances mobilisées est donné dans la vue d'ensemble de la Figure 6.6., modifié de Maudet et Seban Atlantique (2018). Les flèches représentent les renvois dans les instances suivantes, suite aux décisions prises afin de recouvrir à toute instance.

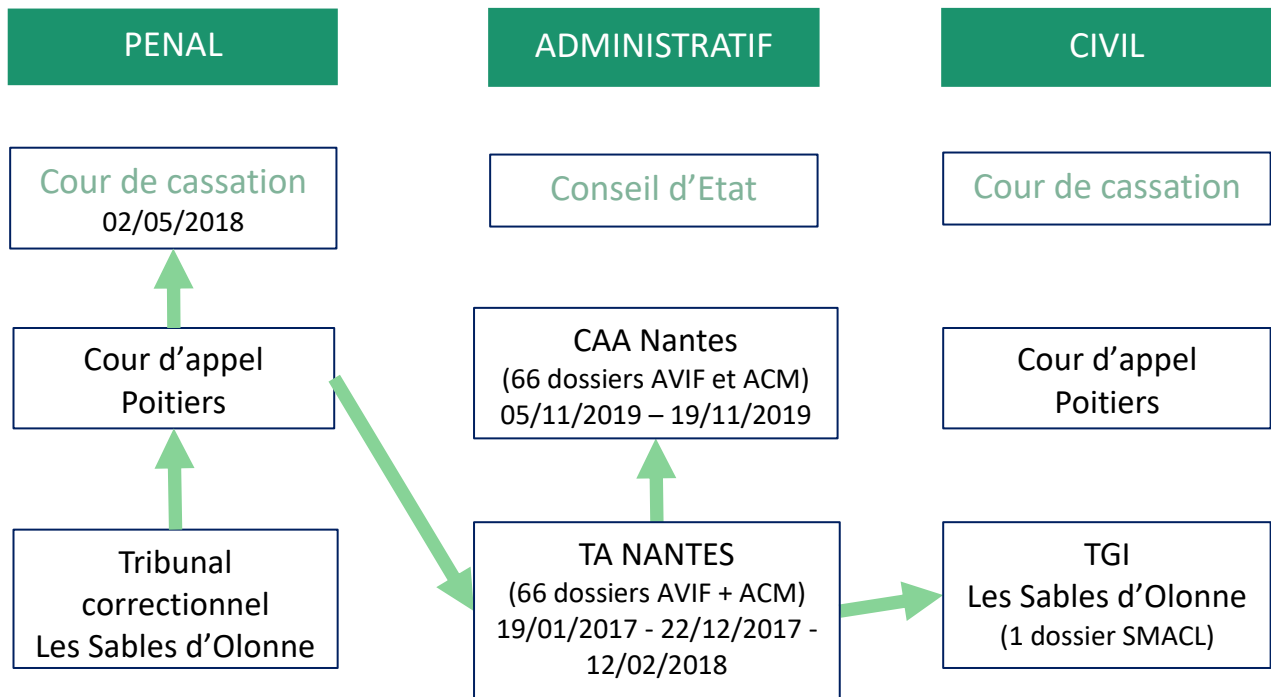


Figure 6.6. Schéma des instances juridiques dans l'affaire Xynthia, 2010 modifié de Maudet et SEBAN ATLANTIQUE (2018)

En raison du nombre de procédures juridiques, nous décidons de ne pas étudier toutes les dimensions juridiques et sociales de l'affaire. L'analyse effectuée sur le cas de Xynthia se veut délibérément simplificatrice pour ne valoriser que les solutions jurisprudentielles devenues définitives et ne retenir que les enseignements majeurs en lien avec la problématique de recherche, à savoir l'analyse de la responsabilité des personnes publiques. De ce fait, cette section se concentre d'une part sur le procès pénal de La Faute-sur-Mer relatif aux élus qui n'est qu'un des aspects de l'affaire Xynthia (les victimes de la tempête ne sont pas toutes liées aux faits de la Faute-sur-Mer) et d'autre part, sur le contentieux administratif.

6.3.4.1 Le contentieux pénal

« Un contentieux est formé par un ensemble de procès se rapportant au même objet » (Guinchard et Debard, 2020). Faisant l'objet d'un désaccord, le contentieux pénal en France expose très régulièrement deux parties – l'auteur présumé de l'infraction et le ministère public défendant les intérêts de la société. Il se déroule en trois phases – les poursuites – l'instruction – et le jugement. Au cours de la procédure pénale appliquée

devant une juridiction répressive, le ministère public cherche premièrement à s'assurer et constater l'infraction. Deuxièmement, il identifie l'auteur de l'infraction grâce à une enquête juridique qui a pour but de rassembler les preuves et de découvrir les circonstances de commission de l'infraction. Enfin le ministère public s'attache à le faire condamner au nom de la société devant le juge pénal (Grunvald et Danet, 2014 ; Pin, 2019 ; Guinchard et Buisson, 2020 ; Taisne, 2020). Relevant aussi de l'ordre judiciaire, le contentieux civil, différent du contentieux pénal, répare le préjudice subi et indemnise les personnes victimes (C. procédure civile, art. 849-11 à 849-20 relatifs à la réparation des préjudices) (Durfort, 2018 ; Guinchard et al., 2019).

L'arrêt du 4 avril 2016 issu de la Cour d'appel de Poitiers confirme neuf des onze fautes établies par le tribunal correctionnel des Sables d'Olonne à l'encontre de l'ancien maire (Maudet et Seban atlantique, 2018) (CA Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199). Toutefois, la Cour d'appel de Poitiers a pris le contre-pied des jugements du T. corr. en réduisant la peine du maire de La Faute-sur-Mer et en relaxant tous les autres prévenus (Cans et Pontier, 2016 ; Belrhali, 2017). Finalement, le maire n'est condamné qu'à deux ans de prison avec sursis et l'interdiction définitive d'exercer une fonction publique. La Cour d'appel rappelle également que pour engager la responsabilité pénale pour délit d'homicide involontaire, l'auteur des faits doit avoir commis une faute non intentionnelle. Le juge judiciaire apprécie cette faute en tenant compte de toute la situation, c'est-à-dire des compétences, des moyens et des ressources dont l'auteur des faits disposait. Il faut donc que le préjudice, ici le nombre de victimes, et la faute caractérisée soient liés par un lien de causalité certain. La Cour reconnaît le lien de causalité indirecte, du fait que le maire ne peut pas être défini comme l'auteur direct des pertes attestées (Cans et Pontier, 2016).

La Cour d'appel rappelle que le maire n'avait pas été poursuivi pour conflits d'intérêts ou enrichissement personnel et souligne que « le maire a manifestement toujours agi dans ce qu'il croyait être l'intérêt de sa commune et des administrés en encourageant l'urbanisation ». En effet, le juge apprécie la détermination de la faute : est-ce une faute personnelle impliquant le droit privé ou est-ce une faute de service appelant le droit administratif ? La Cour retient les fautes d'imprudence et de négligence qui résultent « d'un manque de vigilance et d'une analyse dramatiquement erronée des données que le prévenu avait entre les mains » (CA Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199), soutenant la décision du T. corr que « l'ensemble de ces pièces <DDRM et DICRIM> démontre que, soit par des études et des arrêtés qui ont été portés à sa connaissance, soit par des réunions avec les services de l'Etat, soit encore par des courriers réitérés, <le maire> a été non seulement sensibilisé à la dimension du risque naturel majeur d'inondation marine affectant sa commune, mais encore totalement renseigné sur la nature et les formes de la grave hypothèque pesant sur le territoire dont il avait la charge comme maire » (TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014). La Cour d'appel retient d'une part, le manquement du maire à prendre l'exacte mesure de la situation et à tirer les conséquences

des informations qu'il avait à sa disposition et d'autre part, le manque d'obligation d'information de la population prévue à l'article L. 2212-2 du CGCT et du L. 125-2 du C. env., créé par la loi du 30 juillet 2003. Ce manque d'obligation mettant ses administrés en danger a conduit à une condamnation du maire (Rainaud, 2019).

La Cour se réfère aussi à des défauts concernant la mise en place du droit de l'urbanisme. Elle confirme la prononciation de la décision du T. corr quant à l'obligation pour le maire d'élaborer le document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM), c'est-à-dire la déclinaison au plan local du dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Selon la loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 et les articles R. 125-10 et suivants du code de l'environnement, le DICRIM doit indiquer les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde prises face aux risques majeurs y compris les consignes de sécurité en cas de réalisation du risque.

Ainsi ces fautes caractérisées (loi du 10 juil. 2000 dit loi Fauchon), définies comme un défaut à une obligation de prudence ou de sécurité prévue par la loi, et liées à un manquement d'information de la population, ont exposé autrui au risque de submersion d'une gravité spéciale que le maire ne pouvait ignorer (Cans et Pontier, 2015).

Le second élément essentiel pour engager la responsabilité pénale est de rechercher les liens instrumentaux, matériels ou temporels entre la faute commise et le service. La notion de service public se caractérise par une activité d'intérêt général assurée ou contrôlée par l'administration (Chapus, 1968). Celle-ci se définit donc selon le Conseil d'Etat dans son rapport consacré à l'intérêt général en 1999 par la composition d'une condition matérielle (une activité d'intérêt général) et d'une condition organique (la prise en charge directe ou indirecte par l'administration ou une personne publique) (ECDE, 1999 ; Pilczer, 2010 ; Frier et Petit, 2015 ; Guinchard et Debard, 2020). Enfin le service public soumis à une gestion publique définit le service public administratif.

Rappelons qu'il existe une distinction des types de faute faite par la jurisprudence : les fautes personnelles détachables du service et des exigences du travail et les fautes de service commise par un agent « en service » (Concl., TC, 5 mai 1877, Laumonnier-Carriol). La faute personnelle commise dans le service est détachable du service et engage la responsabilité personnelle de l'agent lorsque ce dernier agit avec une volonté de nuire. Elle engage l'agent sur son patrimoine personnel en appliquant les règles du droit civil par le juge judiciaire. La faute de service a été commise par l'agent lors d'actions faites pour le compte de l'administration. Dans ce cas, cette faute relève du juge administratif (Frier et Petit, 2015).

Le T. corr. avait jugé la faute personnelle du maire comme étant détachable du service compte tenu de sa gravité. Toutefois, la Cour prend la direction opposée estimant la faute comme non détachable du service. En effet, rappelons que le Conseil d'Etat dans les arrêts de 1918 et de 2015 (**CE, 26 juil. 1918, Epoux Lemonnier ; CE, 30 déc. 2015, Cne de Roquebrune-sur-Argens, n°391798 ; 391800**) a défini les critères

permettant de caractériser la faute personnelle détachable des fonctions. Pour qualifier la faute personnelle, le juge doit pouvoir déterminer les prises de décision comme étant d'ordre privé, déclarer un comportement incompatible avec l'exercice d'une fonction publique, ou attribuer une spécificité grave aux faits réalisés (CGCT, art. L. 2123-34 ; **CE, 30 déc. 2015, Cne de Roquebrune-sur-Argens, n°391798 ; 391800**). Comme le soulève Steinlé-Feuerbach (2018), la faute personnelle est « introuvable ». La Cour d'appel de Poitiers assure que les fautes retenues à l'encontre du maire « ont été commises dans l'exercice de ses fonctions de maire et des moyens du service » (CA Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199). La Cour motive sa décision par l'absence de caractère volontaire dans la réalisation de la faute et par l'intérêt du maire envers sa commune en incitant au développement économique au travers de l'urbanisation. Seuls les délits non intentionnels sont poursuivis. Les manquements commis sont définis comme des erreurs d'appréciation, des « fautes d'imprévision, de négligence et d'imprudence » (Cans et Pontier, 2016).

La Cour de cassation, confirme la responsabilité pénale non intentionnelle et retient les condamnations pénales, lesquelles sont ainsi devenues définitives.

Concernant les condamnations civiles, la Cour d'appel de Poitiers rappelle que l'action en réparation des victimes relève de la compétence au profit du juge administratif due à la faute non détachable du service (CA Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199). La commune de La Faute-sur-Mer reste mise hors de cause. Toutefois, la Cour demande à la charge du maire de couvrir les frais de procédure à hauteur de 262 800 euros (Maudet et Seban atlantique, 2018). L'avocat conteste et demande à la commune d'assurer la protection fonctionnelle. Toutefois, concernant ces condamnations civiles, il était demandé à la Cour de cassation de réformer l'arrêt de la Cour d'appel de Poitiers en ce qu'il a estimé que les fautes commises n'étaient pas détachables du service. L'arrêt de la Cour de cassation du 2 mai 2018 rejette les pourvois.

Concernant la personne morale de l'Etat, il lui est reproché de ne pas avoir alerté le maire pour la mise en place de l'organisation d'une surveillance de la digue entre le 27 et le 28 février 2010. Ne connaissant pas le risque auquel cette commune était exposée et même s'il a commis une faute, du fait du manque d'établissement du lien de causalité, la responsabilité de l'Etat en termes de négligence n'est pas retenue.

6.3.4.2 Le contentieux administratif

« Le contentieux administratif concerne l'ensemble des litiges dont la connaissance appartient aux juridictions administratives » (Guinchard et Debard, 2020). La recevabilité des recours contentieux administratifs porte sur trois points, afférents à la nature de l'acte, à la qualité du requérant et à la forme de la requête et aux délais (Frier

et Petit, 2015). Le contentieux met en exergue des litiges pouvant naître entre l'administration publique (Etat, collectivités locales) d'un côté et les particuliers de l'autre. Les infractions aux règles administratives définies dans le droit public et administratif sont jugées lors de cette procédure. Cette procédure a pour but de rechercher la responsabilité des personnes publiques (Frier et Petit, 2015 ; Broyelle, 2020). Le contentieux administratif a pour objectif de comparer l'acte administratif à l'ensemble de la légalité administrative pour évaluer la conformité ou la non-conformité (Maillot, 2013). Concernant les risques naturels, deux types de contentieux administratifs peuvent avoir lieu. Le plus fréquent est celui de l'excès de pouvoir dans lequel le juge contrôle la légalité d'une décision administrative pouvant l'annuler si elle est illégale. Le second concerne celui de la répression dans lequel le comportement de la part de l'administration est sanctionné s'il constitue des atteintes au domaine public (Maillot, 2013).

Les conclusions de la Cour administrative d'appel de Nantes ont été rendues en juillet et novembre 2019. Les requêtes ont été introduites devant la cour par l'Etat (ministre de la transition écologique et solidaire), la commune de La-Faute-Sur-Mer, l'association syndicale de la Vallée du Lay (ASVL) et les familles des victimes (25 familles). La cour a été amenée à apprécier les responsabilités de la commune, de l'Etat et de l'ASVL ainsi que les conséquences matérielles et humaines des fautes commises par ces trois personnes publiques. Elle a examiné une centaine de requêtes formulées par les victimes de l'inondation, qui « contestent le montant des indemnités qui leur ont été accordées par le juge de première instance au tribunal administratif de Nantes en vue de réparer l'ensemble des préjudices qu'elles ont subis » (CAA Nantes, 10 déc. 2019, n°18NT01531 ; 18NT01546 ; 18NT01620 ; 18NT01621 ; 18NT01642). En juillet 2019, la Cour confirme la responsabilité de la commune de La Faute-Sur-Mer, de l'Etat et de l'ASVL ainsi que la part de responsabilité incombant à chacun d'entre eux, soit 50% pour la commune, 35% pour l'Etat et 15% pour l'association syndicale. Rappelons que les conclusions du juge judiciaire, établissant une quantité de dysfonctionnement des services de l'Etat, participent à atténuer d'autant la responsabilité de l'élu.

La responsabilité de la commune a été engagée dans la mesure où son maire a manqué d'informer la population de la Faute-sur-Mer des risques d'inondation auxquels elle était exposée et a délivré des permis de construire dans des zones à risque, sans les assortir de prescriptions suffisantes pour prévenir le danger. Cette faute est une violation des règles de sécurité issues de l'article R. 111-2 du Code de l'urbanisme. Toutefois, la faute dans la délivrance des permis de construire ne peut être engagée qu'au moment où la commune possédait une connaissance juridique indéniable du risque d'inondation et de submersion existant sur la commune (Rainaud, 2019), date à partir de laquelle le PPRI est soit prescrit (2001) soit approuvé (2007). Selon le juge administratif, le maire devait prendre en considération à la fois la probabilité de concrétisation du risque et à la fois l'ampleur des conséquences (C. urb., art. R. 111-2). « Il appartient à l'autorité administrative

d'apprécier, en l'état des données scientifiques disponibles, ce risque de submersion » (CAA Nantes, 19 juillet 2019, n°18NT01529). La responsabilité de l'Etat a été confirmée pour avoir commis une faute lourde dans l'exercice de sa mission de tutelle sur les associations syndicales autorisées, chargées de l'entretien de la digue Est, et avoir omis d'établir un plan de prévention des risques d'inondation. Cette lenteur de l'Etat à élaborer et à terminer le PPRI constitue une faute dès lors que l'Etat possédait la connaissance de ce risque grâce à des études préalablement réalisées dans les années 2000. La responsabilité de l'ASVL a également été confirmée au motif qu'elle n'avait pas suffisamment attiré l'attention des acteurs locaux sur son incapacité à réaliser les travaux de rehaussement de cette digue (CAA Nantes, 10 déc. 2019, n°18NT01531 et suivants). La Cour administrative d'appel a fixé les indemnisations au titre des préjudices matériels, financiers et personnels. Ainsi, 9 familles ont obtenu gain de cause, c'est-à-dire une majoration, par rapport aux sommes accordées en première instance, des indemnités qu'elles réclamaient. Les requêtes des autres familles en vue également d'une majoration des indemnités accordées et les requêtes présentées par l'Etat, la commune de La Faute-Sur-Mer et l'ASVL en vue de la réduction des sommes au paiement « in solidum » desquelles ils avaient été condamnés en première instance ont toutes été rejetées. Les causes exonératoires évoquées par les personnes responsables ont été rejetées (Belrhali, 2017). Ces causes appellent premièrement la force majeure, et deuxièmement, les fautes des victimes.

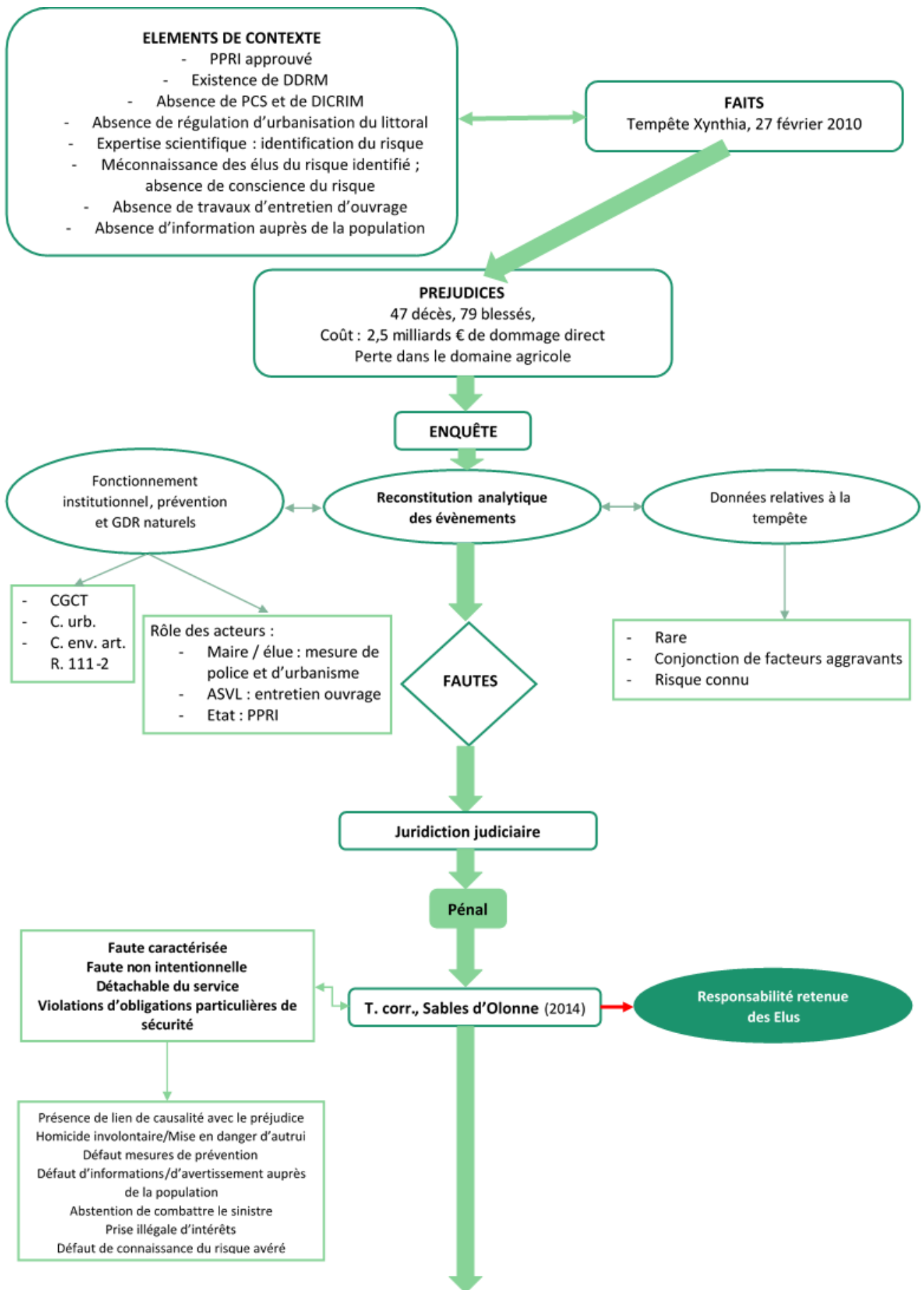
Concernant le cas de force majeure, il n'est constitutif qu'en l'absence d'épisodes précédents de même grandeur. Par conséquent, le juge motive sa décision de rejet de la force majeure en analysant d'anciens épisodes, notamment de nombreux incidents de submersion marine qui ont eu lieu dans la commune depuis 1928. Il retient le caractère de prévisibilité et de non-irrésistibilité de la tempête. En outre, les autorités publiques, par la réalisation du diagnostic sur la « Digue Est » en 2006, avaient connaissances du risque naturel encouru sur leur commune. Ce diagnostic avait conclu sur l'insuffisance de la protection de la digue contre une submersion marine (Belrhali, 2017).

Concernant les fautes des victimes d'autre part, c'est-à-dire la méconnaissance qu'avaient les victimes du risque d'inondation, deux éléments d'appréciation sont relevés. Le premier se caractérise par le défaut d'information de la commune afférent à ce risque, participant dès lors, à l'absence de connaissance des victimes. Le second élément concerne la certitude que les victimes avaient sur la protection dont ils bénéficiaient par la présence de la digue. Ils ignoraient ses défauts.

Pour conclusion, les décisions de la CAA de Nantes renforcent la multiplicité des acteurs directs (Etat, commune, établissement public, victimes) et indirects (assureurs et ayants droit) et l'importance d'apprécier les responsabilités des uns et des autres (Steinlé-Feuerbach et Arbousset, 2018).

6.3.5 Etapes du processus décisionnel du juge vis-à-vis des principales responsabilités pénales et administratives

La décision des juges concernant la responsabilité des personnes accusées est représentée Figure 6.7. Cette séquence montre les points de vigilance que les élus doivent privilégier. Il est certain qu'ils doivent communiquer sur le risque en lui-même tout en ayant compris et en ayant connaissance de celui-ci. C'est à ce moment-là que les scientifiques peuvent intervenir afin d'aider l'élu à la compréhension du risque. Les scientifiques peuvent caractériser l'aléa, c'est-à-dire le définir. Ils peuvent caractériser le territoire pour obtenir une meilleure configuration des lieux. Ils peuvent enfin caractériser la vulnérabilité du territoire exposé, les représentants de celui-ci seront en mesure de hiérarchiser leurs actions et décisions et d'instaurer les moyens de prévention en fonction de leur connaissance et des ressources disponibles.



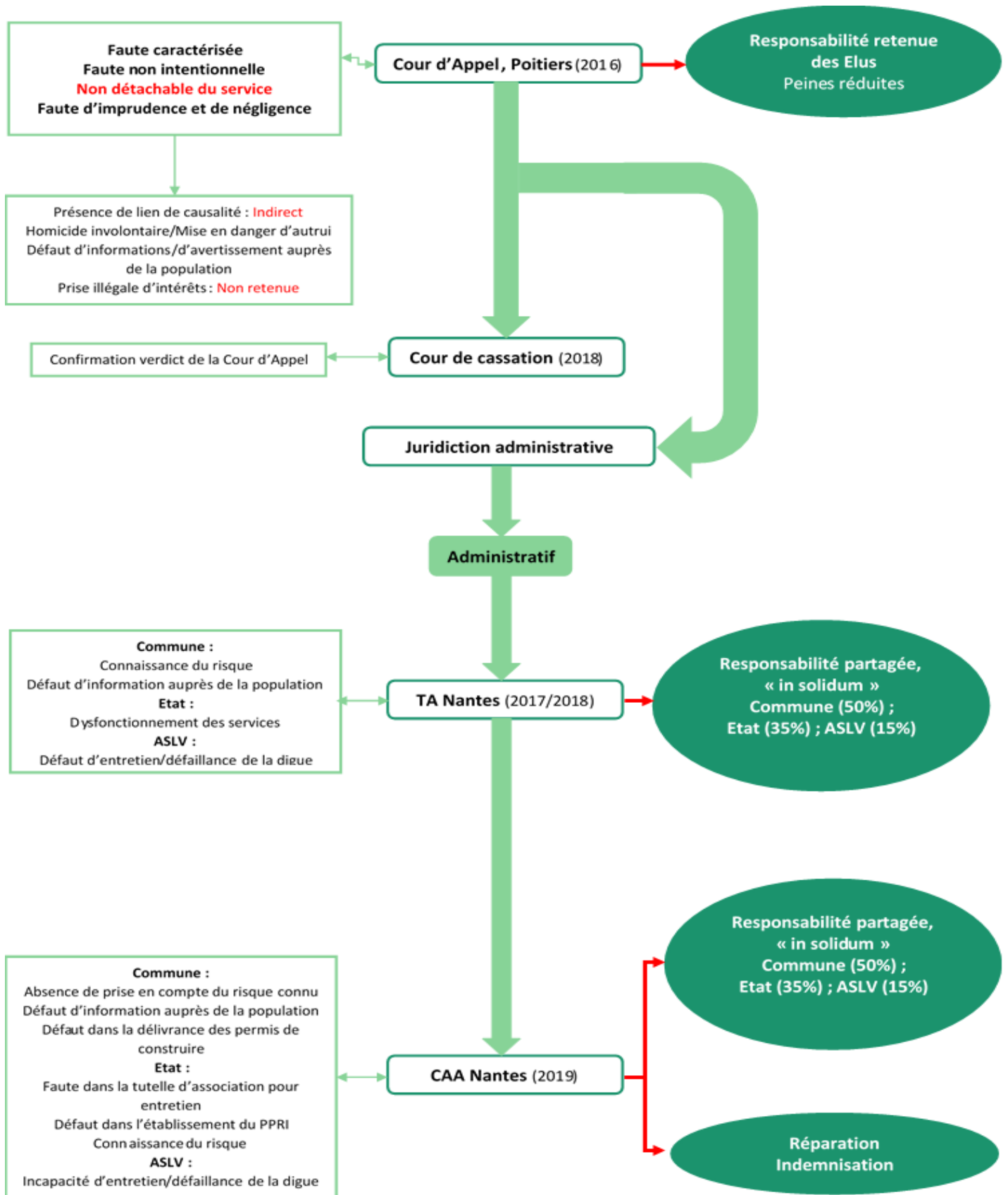


Figure 6.7. Logigramme de décision de la responsabilité dans le cas de la tempête Xynthia, France, 2010

En provoquant des inondations meurtrières et dévastatrices pour les territoires, la tempête Xynthia a agi comme un révélateur des carences du système administratif et politique d'appréhension du risque en zones côtières. Bien que la cause principale du préjudice soit associée à un phénomène naturel imprévisible, d'autres causes débattues lors du procès ont été identifiées comme ayant participé aux dommages ou à l'accroissement des conséquences. Ces causes sont issues des fautes commises par les autorités publiques, déconcentrées et décentralisées (Rainaud, 2019). Les lenteurs de mise en place de dispositifs d'urbanisation traduisent la difficulté du dialogue entre les services de l'Etat et les élus locaux. Il convient d'évoquer que les élus attendent souvent le plus longtemps possible pour mettre en place les nouvelles normes afin de garder le plus d'espace constructible (Cour des Comptes, 2012). Les PPRI de submersion marine ne sont pas encore ancrés dans la conscience des élus par rapport aux PPRI d'inondation qui sont mieux appréhendés. Par conséquent, le cas Xynthia illustre la défaillance de l'urbanisme décentralisé et du contrôle de légalité (Belrhali, 2017 ; Rainaud, 2019)

Concernant le moment de l'anticipation du risque, des défaillances sont à noter :

- La vigilance manque d'opérationnalité.
- Le territoire français n'est pas assez couvert en PPRI ou du moins ces PPRI ne sont pas pris en compte. L'aléa de référence est généralement sous-estimé. Ces points soulignent une prévention incomplète du risque de submersion marine.
- Le défaut de prise en compte du risque dans les autorisations d'urbanisme et le flou d'irresponsabilité collective participent à une occupation des sols exposés au risque inondation.

Enfin, la responsabilité pénale peut être engagée en présence d'un défaut de prévention des risques naturels imputable au décideur public pour homicide et blessures involontaires et pour mise en danger de la vie d'autrui. Les prises de décision traduisent l'absence d'une culture partagée du risque par les responsables politiques. Le procès Xynthia qui a débuté en 2014 illustre également la grande difficulté à déterminer les responsabilités. Ce jugement questionne sur l'efficacité de la décentralisation (Cans et Pontier, 2015 ; Belrhali, 2017). L'enjeu est donc de durcir les conditions pour que la prévention des risques naturels devienne effectivement prioritaire par rapport aux autres intérêts. Il est important de retenir que face aux risques naturels, la responsabilité est « une affaire collective » (Belrhali, 2017).

6.4 Résumé et conclusions

En conclusion, l'analyse des jurisprudences et des textes juridiques permet de mettre en lumière les éléments d'appréciation du juge sur lesquels il peut s'appuyer pour engager une éventuelle responsabilité administrative dans le domaine des risques naturels. Les caractéristiques de l'aléa naturel, la vulnérabilité du territoire et la maturité des actions préventives et protectrices mises en œuvre participant à réduire les dommages sont des éléments pris en compte dans la décision du juge.

Ces exemples ont conduit à l'élaboration des étapes du processus d'engagement de la responsabilité propre à chaque évènement naturel. Une fois le préjudice identifié, l'enquête a lieu. Celle-ci examine les décisions prises en fonction des éléments de contexte. En ce qui concerne, les données relatives au séisme, le caractère d'imprévisibilité est le plus problématique ainsi que le caractère lié à la temporalité. Le séisme a une période de retour pouvant aller à des décades voire des centaines d'années selon les territoires et la magnitude des événements considérés. A l'opposé, la mise en œuvre des moyens de prévention a une temporalité immédiate puisque c'est l' élu lors de son mandat qui prend la décision. Par conséquent, la prise de conscience de l'utilité des moyens de prévention immédiats pour un évènement incertain et à longue période de retour est difficile. Dès lors, l'analyse de la temporalité et de l'imprévisibilité du risque dans l'enquête devient une question primordiale.

Selon les conclusions de l'enquête, une faute est déclarée ou pas. Si absence de faute il y a, alors la responsabilité ne sera pas engagée. Si l'existence d'une faute présumée est avérée, de potentielles responsabilités peuvent être engagées en fonction des acteurs impliqués. Dans les Figure 6.8. et Figure 6.9. résumant les étapes du processus décisionnel du juge, sont identifiés en rouge le moment où les scientifiques interviennent et peuvent apporter leur expertise. Ces figures résumant aussi les responsabilités pouvant être engagées lorsqu'une faute présumée existe. Bien que les étapes de cette réflexion soient à réaliser pour chaque acteur public et chaque faute présumée, il est possible d'en tirer des lignes directrices au travers de l'analyse des jurisprudences. Rappelons que plusieurs facteurs mis en cause peuvent engager une responsabilité. Certains facteurs réunis suffisent à engager potentiellement une responsabilité selon le degré de gravité et les éléments de contexte existants. Selon la nature de la faute et le lien de causalité, la juridiction judiciaire (pénale) ou la juridiction administrative seront appelées.

En croisant ces différentes réflexions, et avec le souci de proposer un regard global sur la question de la responsabilité administrative dans le domaine des risques naturels, l'analyse des préjudices montre qu'il sera possible de construire un modèle apte à prédire sommairement la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative. Toutefois, du fait d'une absence d'automatisme des sanctions et de l'unicité de chaque cas d'affaire,

le modèle juridique sera seulement une aide à la prise des décisions des personnes publiques dans l'ajustement de leur politique de gestion des risques naturels.

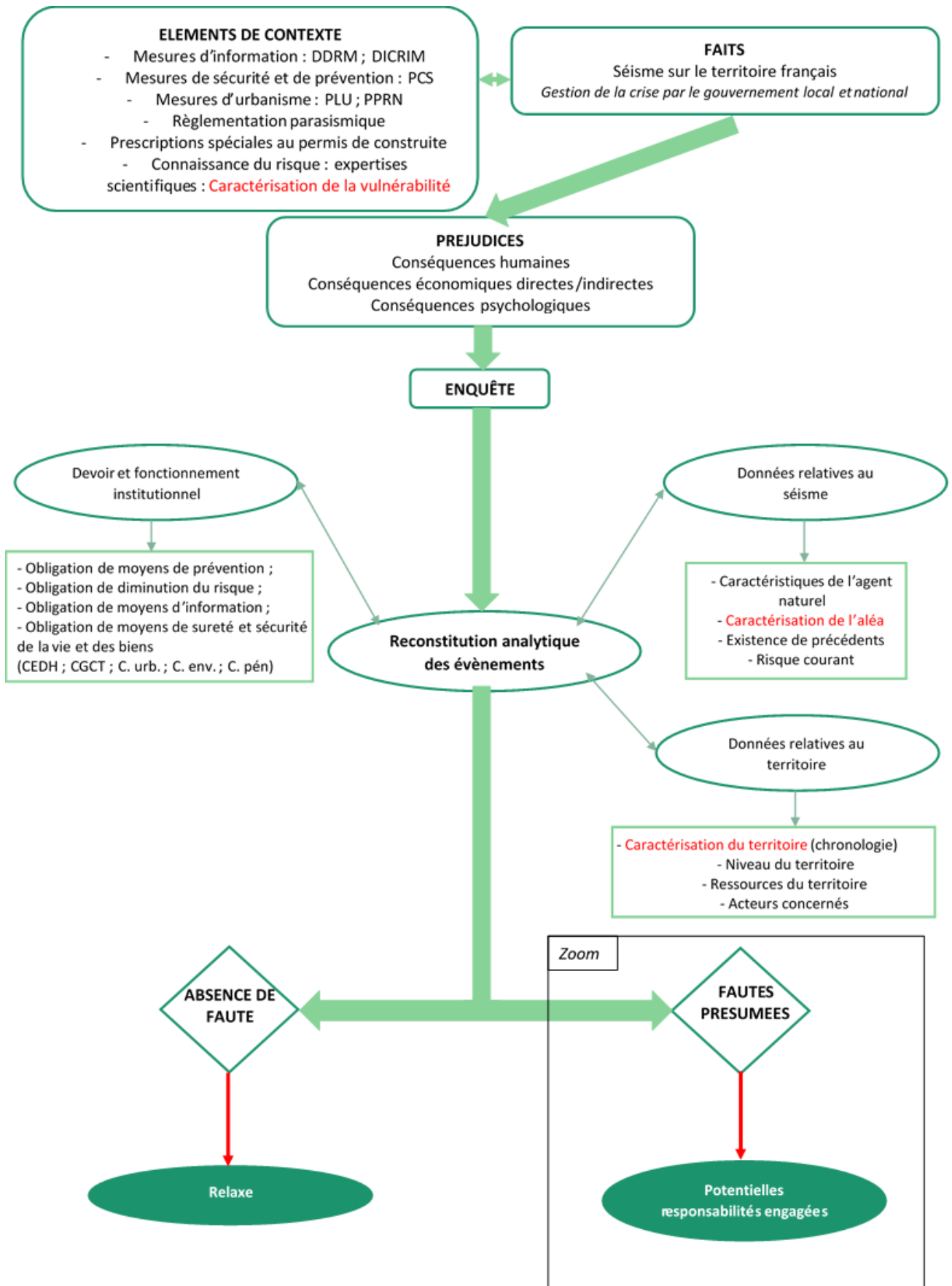


Figure 6.8. Résumé des étapes du processus décisionnel du juge vis-à-vis de l'engagement des responsabilités

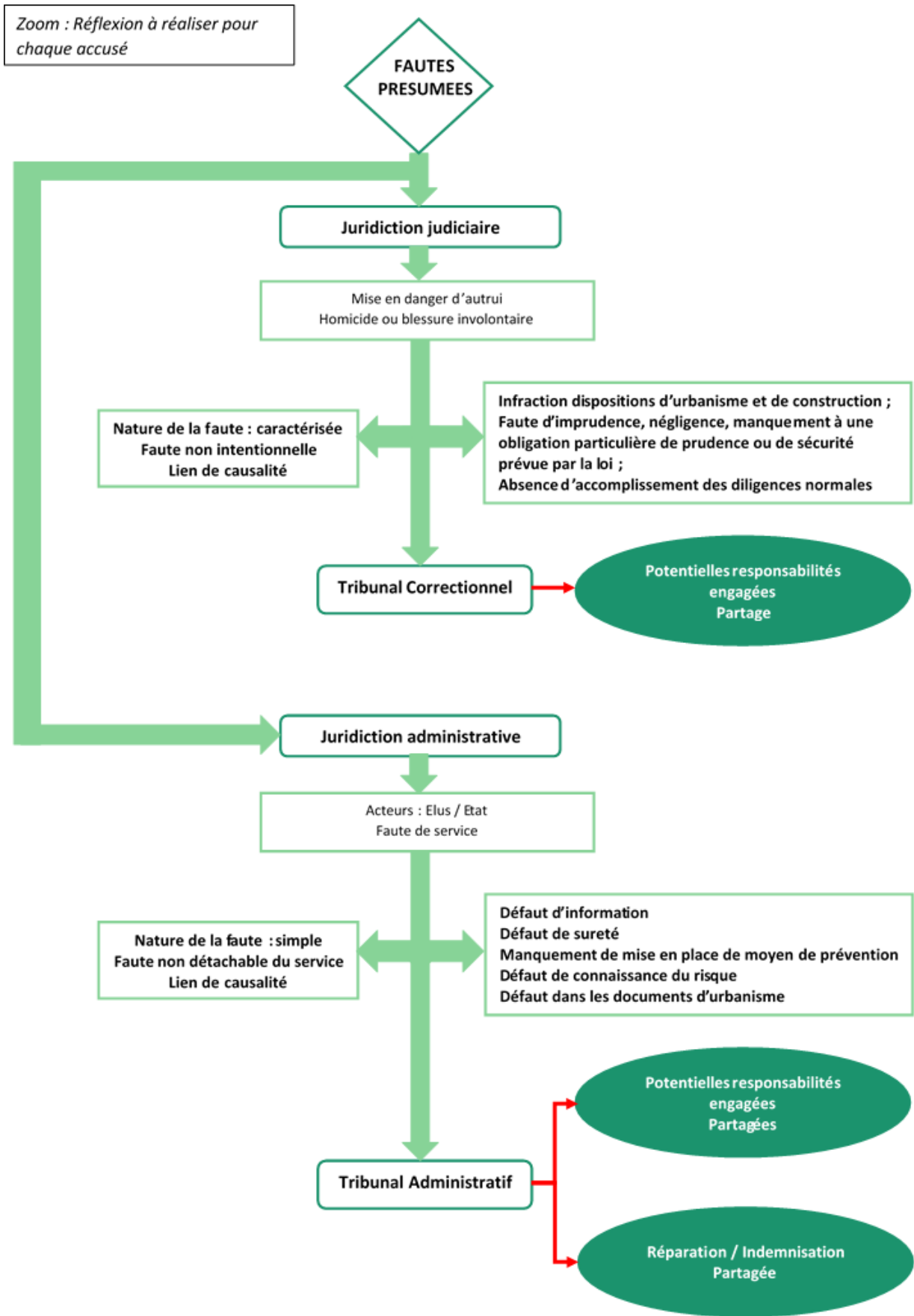


Figure 6.9. Résumé des responsabilités pénales et administratives possibles lorsqu'une faute est retenue.

7 Modélisation de l'engagement juridique de la responsabilité administrative en cas de séisme

Les chapitres 5 et 6 ont montré qu'en matière de risques naturels, le juge judiciaire ne condamnait que rarement voire jamais l'élu (du fait de la loi Fauchon). Pour tenter d'impliquer les élus dans la prévention du risque sismique, un modèle d'engagement de la responsabilité de l'administration a tout son intérêt. Afin d'engager une éventuelle responsabilité administrative des personnes publiques, un lien de causalité doit être établi entre un fait générateur (le séisme et éventuellement la faute de l'administration) et des préjudices. Dans ce chapitre, nous reprenons les éléments issus des jurisprudences sur lesquels le juge administratif pourrait s'appuyer pour rendre sa décision ainsi que le cadre administratif concernant les risques naturels. Puis nous développons à partir de ces éléments, un modèle permettant d'évaluer en fonction des actions de prévention mises en place par l'administration l'engagement probable de la responsabilité. Afin de s'assurer de l'intérêt d'une telle démarche, et qu'elle soit insérée à la politique de gestion et de réduction du risque sismique, nous avons choisi de nous intégrer au cadre des procédures en vigueur dans les collectivités pour l'amélioration continue de la qualité. Par le cycle de la roue de Deming, nous quantifions l'impact de la mise en place des moyens de protection et de prévention, ciblés sur le risque sismique. Enfin, à partir de la qualification du préjudice et de la maturité des moyens de prévention mis en œuvre établissant le lien de causalité, le modèle juridique estime l'engagement probable de la responsabilité administrative des personnes publiques.

7.1 Introduction

Depuis quelques années, la judiciarisation de la société s'observe, en particulier concernant les catastrophes naturelles (Alexander, 2010 ; Scotti, 2014 ; 2015, Joye et al., 2015). Un premier cas étudié dans ce manuscrit de thèse concerne le séisme de L'Aquila de 2009 en Italie, où le vice-président du département de la protection civile italienne, représentant de l'Etat, a été condamné pour négligence par la Cour d'appel de L'Aquila en 2014 en raison de ses propos rassurants lors de la séquence sismique de l'Aquila (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013). Le second cas relatif à la tempête Xynthia de 2010, rappelle qu'en France, la commune peuvent aussi voir leur responsabilité engagée pour carence dans les mesures de police (CAA Nantes, 10 décembre 2019, n°s 18NT01531, 18NT01546, 18NT01620, 18NT01621, 18NT01642). Les jurisprudences nationale et internationale indiquent une tendance à engager plus facilement la responsabilité administrative des décideurs publics vis-à-vis des risques naturels que leur responsabilité pénale (CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879 relatif à l'avalanche ; CEDH, 22 mars 2008, Boudaïeva et autres c. Russie, n°15339/02, 21166/02, 11673/02 et 15343/02 relatif aux coulées de boue ; CEDH, 28 févr. 2012, Kolyadenko et autres c/Russie, n°17423/05 relatif à l'inondation ; CEDH, 17 nov. 2015, Özel et autres c/ Turquie, n°14350/05, 15245/05 et 16051/05 relatif au séisme).

Les conditions d'engagement de la responsabilité administrative sont l'existence d'un préjudice, le fait générateur (le séisme ou l'aléa naturel) et le lien de causalité. Ce n'est qu'à partir de la constatation de l'existence d'un lien de causalité entre le préjudice et le fait générateur que le juge va pouvoir rechercher une quelconque responsabilité suivie d'une mise en accusation (Van Lang, 2018). Concernant les risques naturels, le lien de causalité est défini par les moyens de prévention et de protection que les autorités publiques mettent en place dans leur politique de gestion et de réduction des conséquences, reprenant ainsi les termes de La Cour européenne des Droits de l'Homme (CEDH) qui définissent les devoirs des états pour la protection des personnes et des biens (CESDHLF, art. 2 et 8 ; Protocole, art. 1). Les autorités publiques, et en particulier les élus locaux, doivent prendre en compte ce risque et tenter de le maîtriser ou de l'atténuer par leurs décisions, en fonction de leurs ressources et du contexte réglementaire et administratif. Pour cela, elles se questionnent sur le bien-fondé de certaines actions en fonction des bénéfices attendus : Quel serait le bénéfice des décisions prises sur la réduction des conséquences économiques et sociales ? Quelle est la qualité de cette mesure ? Quel est le risque assumé et accepté ?

Dans la littérature, différentes démarches existent pour une évaluation de la qualité des actions mises en place dans les collectivités territoriales, comme par exemple le référentiel Marianne (Secrétariat général pour la modernisation de l'action publique, 2013) pour l'amélioration de l'accueil ou le référentiel sur la qualité des soins et des

risques sanitaire (V2010) (HAS, 2014). Le cadre dans lequel s'inscrit l'amélioration continue des processus s'appuie sur une démarche qualité basée sur un cycle de progrès, nommé la roue de Deming (Shewhart, 1931 ; 1939 ; Deming, 1950). Elle est utilisée pour apprécier le niveau de maturité de la démarche d'amélioration continue de la qualité suivant les référentiels de certification et le cadre normatif dans lesquels la collectivité évolue. Ce cycle comprend quatre étapes d'analyse des moyens mis en place qui seront reprises pour définir le modèle d'engagement de la responsabilité administrative : planifier, réaliser, vérifier et ajuster (Langley et al., 1994 ; Moen et Norman, 2006 ; Moen, 2009 ; Lodgaard et Aasland, 2011 ; Bereskie et al., 2017).

D'autre part, Farmer (1967) et Health and Safety Executive (HSE) (1988), analysent et définissent les critères d'acceptabilité des risques sociaux selon la méthode dite ALARP (As Low As Reasonably Practicable) (Lannoy, 2013). Cette méthode fournit des informations pertinentes aux acteurs concernés afin d'évaluer les décisions prises et leurs impacts sur la réduction des risques. Ces méthodes représentent également un niveau d'acceptabilité du risque et les efforts à consentir pour le diminuer en fonction de l'ampleur des conséquences et de leur probabilité d'occurrence. En France, le principe ALARP est par exemple appliqué à la protection de l'environnement (arrêt du 10 mai 2000 ; arrêt du 29 septembre 2005 relatifs à la prévention des accidents majeurs).

Dans ce chapitre, seule la responsabilité de l'administration l'obligeant à réparer les dommages provoqués par son fait sera modélisée. L'objectif et l'originalité de ce travail seront donc d'appuyer les décisions des décideurs publics en construisant un modèle de prédiction des conséquences juridiques à partir des éléments sur lesquels le juge administratif pourrait s'appuyer en cas de sinistre et selon une démarche qualité déjà implémentée par les collectivités locales. Selon le cycle de la roue de Deming, le lien de causalité, condition sine qua non à une probable mise en accusation, pourra être défini. Le modèle estimera la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative en fonction de deux composantes : la quantification des conséquences (définition du préjudice) et la maturité des moyens de prévention instaurés. Dans la dernière section, le modèle de prédiction des conséquences juridiques sera appliqué à deux cas de catastrophe naturelle.

7.2 Les éléments d'appréciation du juge administratif

7.2.1 Selon les défauts retenus

La construction du modèle de prédiction des conséquences juridiques défini dans ce travail s'appuie sur la jurisprudence (chapitres 5 et 6). Comme peu de jurisprudences font référence au risque sismique, nous avons élargi l'analyse des jurisprudences aux

risques naturels. Seuls les documents publics accessibles ont été pris en compte et référencés.

L'analyse des jurisprudences issues de la Cour Européenne des Droits de l'Homme (CEDH), du cas du séisme de L'Aquila en Italie (2009) et des jurisprudences françaises (comme celles consécutives à la tempête Xynthia, 2010) a été réalisée. Les mêmes effets et les mêmes conséquences sont généralement constatés quel que soit l'aléa : une urbanisation qui s'intensifie sans contrôle, une période de retour des aléas entraînant un défaut de connaissance du passé pour l'anticipation des événements à venir, une certaine imprudence dans la délivrance des permis de construire, un dialogue compliqué entre les services de l'Etat centralisé et les élus locaux.

En cas de poursuites, la responsabilité administrative serait étroitement liée à la connaissance du risque. La faute sera appréciée au regard de la compétence de l'administration mais aussi des moyens dont elle dispose et qu'elle a mobilisés. De ce fait, depuis la loi Fauchon de 2000, à partir du moment où les élus sont presque systématiquement considérés comme des acteurs indirects, leur responsabilité administrative devrait être étroitement liée à leur conscience et leur connaissance du risque sismique et des mesures mises en œuvre pour le maîtriser.

Comme le montre l'affaire Xynthia de 2010, les personnes publiques, en France, peuvent voir leur responsabilité administrative engagée. Toutefois, puisque le risque sismique est qualifié d'incertain, l'événement doit se produire et provoquer des dommages pour pouvoir engager une quelconque responsabilité. Dans ce cas-là, le lien de causalité fait générateur/préjudice est primordial, illustré par exemple par le non-respect des règles parasismiques ou une minimisation du niveau de risque.

Suite aux chapitres 5 et 6, les conditions d'engagement de la responsabilité concernant les personnes publiques vis-à-vis du risque sismique sont indiquées en Annexe 2. Pour résumer, le juge administratif pourrait rechercher une responsabilité pour d'une part des défauts dans les mesures d'urbanisme telles qu'une défaillance dans la délivrance de permis de construire et une insuffisance d'entretien des moyens de protection, et d'autre part, des défauts dans les mesures de police telles qu'une absence d'usage des pouvoirs de police du maire (CGCT, art. L. 2212-2), une absence d'adoption de mesures préventives et une insuffisance des mesures d'informations et d'alerte.

7.2.2 Selon le préjudice

L'existence d'un préjudice est la première condition de l'engagement de la responsabilité (Cans et al., 2014). En fonction de la gravité du préjudice, le juge appréciera le caractère exceptionnel de l'événement, en regard des événements passés, et portera un avis sur la connaissance et la conscience du risque des acteurs.

Le préjudice est défini selon l'échelle de gravité des dommages établie par la Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (1999) (Table 7.1.), allant de l'incident à la catastrophe majeure. La gravité est définie selon les pertes humaines et économiques et à chaque classe est associé un coefficient de conséquences (μ_{cons}) qui sera un paramètre d'entrée de notre modèle (Table 7.1.).

Table 7.1. Echelle de gravité des dommages (Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (1999) dans MTES, 2020a)

Classe	Dommmages humains	Dommmages économiques	Coefficient de conséquences μ_{cons}
Incident	Aucun blessé	Moins de 0,3 M€	0
Accident	Un ou plusieurs blessés	Entre 0,3 M€ et 3 M€	1
Accident grave	1 à 9 morts	Entre 3 M€ et 30 M€	2
Accident très grave	10 à 99 morts	Entre 30 M€ et 300 M€	3
Catastrophe	100 à 999 morts	Entre 300 M€ et 3 000 M€	4
Catastrophe majeure	1 000 morts et plus	3 000 M€ et plus	5

7.2.3 Selon le cadre réglementaire et administratif

Le juge administratif, en plus des jurisprudences, appuie sa décision sur des éléments en relation avec le cadre national (réglementation) et administratif, qui sont rappelés ici.

7.2.3.1 La France dans le cadre d'actions de Sendai

Le cadre d'actions de Sendai succédant à celui de Hyōgo en 2005 est adopté à la Conférence des Nations Unies en 2015 pour la réduction des risques de catastrophe. Les quatre priorités d'actions sont (UNISDR, 2015) :

Priorité 1 : comprendre les risques de catastrophe ;

Priorité 2 : renforcer la gouvernance des risques pour mieux gérer ;

Priorité 3 : investir dans la réduction des risques de catastrophe aux fins de la résilience ;

Priorité 4 : renforcer l'état de préparation aux catastrophes pour intervenir de manière efficace et pour « mieux reconstruire » durant la phase de remise en état et de reconstruction.

La France évolue dans ce cadre d'action et investit dans ces priorités pour mener sa politique de gestion des risques naturels. Dans ce cadre d'actions, on observe une mutation vers une culture et une conscience des risques naturels, via des actions d'information et d'éducation (MTES, 2020b). Par ailleurs, Meyer et Kunreuther (2017) exposèrent la théorie « du paradoxe de l'Autruche » expliquant pourquoi la société se prépare mal aux désastres. Selon eux, ce paradoxe incite à construire des maisons dans des secteurs exposés aux risques naturels et entraîne les élus à mépriser les mesures de sécurité, à abandonner une politique préventive puisque la catastrophe qu'elle est censée contenir tarde à se produire (Meyer et Kunreuther, 2017). Par conséquent, la conscience du risque, renforcée par la connaissance des événements historiques, est un indicateur sur lequel le juge administratif pourrait s'appuyer.

7.2.3.2 Le dispositif du Fonds Barnier

Créé par la loi du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement, le Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM ou « Fonds Barnier ») contribue au financement des mesures visant à réduire la vulnérabilité des biens exposés à des risques naturels (Projet de loi des finances (PLF), 2018). Ce fonds, à caractère préventif, intervient pour prévenir les conséquences liées aux événements naturels en cofinçant des actions de prévention qui ont pour objectif d'assurer la sécurité des personnes et de réduire les dommages (c. env., art. L. 561-3 ; R. 561-15).

Concernant le risque sismique, la loi de finances (n°2016-1017 du 26 décembre 2016) a introduit un plafond de 8 M€ jusqu'à fin 2020 pour la mesure relative au financement des études et travaux de prévention du risque sismique pour les bâtiments, équipements et installations nécessaires au fonctionnement des services départementaux d'incendie et de secours dans le cas d'un plan de prévention des risques naturels (PPRN) approuvé (PLF, 2018). Notons que le bilan cumulé sur la période 2007-2015 montre la réalisation d'opérations notables, telles que le renforcement ou la remise à niveau de bâtiments de l'Etat dont 44 établissements scolaires, pour un montant total investi de plus de 2,4 Md€ (PLF, 2018). Pour la période 2016-2020, l'État s'est engagé à investir 450 M€ (dont 290 M€ sur le FPRNM), pour soutenir les travaux de confortement parasismique ou de

reconstruction des bâtiments appartenant aux collectivités, aux bailleurs sociaux, aux SDIS, ainsi que pour réduire la vulnérabilité de ses propres bâtiments (PLF, 2018), soit une augmentation de 30 % par rapport à la première phase du plan

La disponibilité du fonds Barnier et la jurisprudence analysée indiquent que des opportunités sont offertes aux collectivités pour mener des opérations visant la réduction des conséquences liées aux aléas naturels, et donc sismique (PLF, 2018). Le juge administratif pourrait ainsi moduler son interprétation de la responsabilité au regard de l'investissement des collectivités à rechercher des solutions pour devenir plus résiliente en sollicitant le fonds Barnier ou en créant des fonds de leur propre initiative dédiés à la rénovation et au renforcement du bâti existant.

7.2.3.3 Le cadre d'actions CAPRIS

Un cadre d'actions pour la prévention des risques sismiques (CAPRIS) existe depuis 2013, à l'initiative du COPRNM ayant pour objet d'orienter et de coordonner les politiques de prévention sur le territoire national. CAPRIS repose sur quatre priorités nationales (COPRNM, 2013) :

1. Sensibilisation au risque sismique et formation à la construction parasismique ;
2. Réduction de la vulnérabilité des constructions par l'application de la réglementation parasismique et le développement du renforcement du bâti existant ;
3. Aménagement du territoire communal par l'évaluation de l'efficacité des plans de prévention des risques sismiques (PPRS) et la stabilisation du cadre méthodologique d'élaboration des PPRS ;
4. Amélioration de la connaissance de l'aléa, de la vulnérabilité et du risque sismique.

Une première orientation stratégique du CAPRIS concerne la mobilisation des collectivités territoriales à la conduite des actions de prévention et de réduction de la vulnérabilité et à l'éducation des citoyens. Une seconde orientation stratégique relève de la réduction de la vulnérabilité des constructions neuves et du renforcement du bâti existant grâce à la mise en place de contrôle (COPRNM, 2011). Ce cadre national a donc comme objectif de transférer la responsabilité des actions de préventions et de réduction du risque sismique à l'échelle locale (communale ou intercommunale). Les acteurs locaux en charge de la prévention (e.g., les collectivités territoriales) doivent se mobiliser autour des priorités nationales (COPRNM, 2013). CAPRIS concerne essentiellement les régions des zones de sismicité de 2 à 4. Par exemple, la déclinaison régionale de ce cadre, généralement portée par les services décentralisés du ministère MTES (par exemple la Direction Régional de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement DREAL), est ainsi en cours à l'échelle du massif pyrénéen, sur la région Pays-de-Loire, et en Savoie,

et effective en Nouvelle-Aquitaine, PACA et Hauts-de-France (Projet Loi Finance, 2018). Par exemple en Savoie, la DREAL porte son action sur l'amélioration de la connaissance, la prise en compte du risque sismique dans le recensement et le diagnostic du bâti, l'information et la formation des professionnels de la construction, et l'information du grand public (planséisme, 2020). Le juge administratif pourrait ainsi étudier l'appropriation par les collectivités des actions développées dans CAPRIS, et leur diffusion et application sur leur territoire.

D'autres dispositifs complémentaires existent comme l'attribution d'un label Pavillon Orange. Il est décerné aux communes pour valoriser leur engagement en termes de sauvegarde et de protection des populations face aux risques majeurs (par exemple à Nice). L'obtention d'une labélisation comme celle-ci permet d'apprécier également l'engagement d'une collectivité dans la réduction du risque et serait un élément considéré par le juge administratif pour la recherche d'une responsabilité en cas de dommages.

7.2.4 Synthèse des éléments d'appréciation du juge administratif

Le modèle de prédiction de la responsabilité administrative s'appuie donc d'une part sur l'ensemble des informations relatives aux jurisprudences analysées, au cadre réglementaire et administratif français, et d'autre part sur les défauts constatés et les conséquences socio-économiques du séisme. Le tableau 7.2 synthétise en trois catégories les éléments sur lesquels le juge administratif appuierait sa décision en cas de sinistre, confirmés également par l'enquête auprès des juristes. Le juge administratif pourrait alors examiner la mise en place de ces éléments par l'administration et leur niveau de maturité afin d'apprécier l'engagement de la responsabilité des personnes publiques.

Table 7.2. Synthèse des éléments probables d'appréciation du juge administratif pour évaluer le niveau d'engagement de la responsabilité des personnes publiques suite à un séisme provoquant un préjudice

Thématiques	Eléments d'appréciation du juge
Connaissance	<p>Cadre juridique et décisionnel par rapport aux risques naturels et missions de l'élu.</p> <p>Connaissances scientifiques et techniques sur le risque sismique.</p> <p>Vulnérabilité territoire.</p> <p>Connaissance des rôles précis de chaque acteur du gouvernement local, régional ou national par rapport au risque sismique.</p>
Appropriation du risque sismique	<p>Frise historique.</p> <p>Compétences spécifiques par rapport au risque sismique.</p> <p>Politique de maîtrise de l'urbanisation.</p> <p>Etudes d'impacts socioéconomiques et sur la santé publique.</p> <p>Participation à des travaux de recherche (France, Etranger).</p> <p>Stratégie de résilience intégrée et stratégie de retour à la normale.</p>
Mesures	<p>Information et prévention des populations.</p> <p>Contrôle de légalité de l'application des règles parasismiques par les services de l'état.</p> <p>Contrôle de légalité à l'égard des permis de construire.</p> <p>Communications entre les différentes strates du gouvernement.</p> <p>Bâties aux normes et pourcentage de confortement aux normes parasismiques. Par exemple pour les bâtiments publics stratégiques</p> <p>De police et d'urbanisme.</p> <p>Système d'alerte.</p> <p>Collaboration avec partenaires scientifiques.</p>

7.3 Définition du modèle

Pour le modèle juridique, la causalité entre le fait générateur et le préjudice est recherchée, ce qui revient à évaluer la mise en place par les autorités a priori, des moyens de protection et de prévention effectifs et adaptés (CESDHLF, art. 2 et 8 ; Protocole, art. 1 ; CGCT, art. L. 2212-2 et suivants).

L'engagement de la responsabilité administrative se définit par (Eq. 7.1.) :

$$ER = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} \quad (7.1.)$$

avec ER la fonction d'engagement de la responsabilité, α_{moyens} la fonction évaluant la qualité des moyens de prévention et de protection mis en place et μ_{cons} évaluant le préjudice (c'est-à-dire les conséquences subies, Tab. 7.1).

Dans notre modèle, le préjudice μ_{cons} est défini par les conséquences socio-économiques que nous sommes capables d'évaluer pour un séisme donné (voir Chap. 3 et 4) et les moyens selon la démarche qualité décrite ci-dessous.

7.3.1 La fonction Moyens selon la démarche d'amélioration continue de la qualité

La fonction *Moyens* est établie selon le principe d'amélioration continue de la qualité (Deming, 1950). Fondée dans les années 1940 par Deming (1950 ; 1991), l'amélioration de la qualité du service public occupe « une place centrale dans les politiques de modernisation » (Barouch, 2010). Des démarches qualités sont appliquées de façon courante, comme par exemple à l'origine du référentiel Marianne relatif à l'engagement concernant l'accueil du public, ou de la loi organique relative aux lois de finances (LOLF) entrée en vigueur en 2006. Par exemple, la LOLF marque un tournant par rapport à la gestion publique traditionnelle (Lambert et Migaud, 2005). Le budget est désormais construit par programmes et son efficacité est mesurée par des indicateurs de résultats visant à mesurer la « qualité de service ».

Dans le domaine des risques naturels, les collectivités territoriales s'inscrivent également dans cette démarche d'amélioration continue, comme par exemple au travers du programme d'actions de prévention des inondations (PAPI) relatif au risque inondation (MEDDTL, 2011b). Toutefois, l'enquête menée sur le risque sismique a révélé que la démarche d'amélioration continue n'existe que très peu pour ce risque sans doute par défaut de référentiel national spécifique, limitant le comportement des élus, la visée politique adoptée et la compréhension du niveau de responsabilité malgré l'objectif 3 de l'action n°10 du budget opérationnel du programme 181 (i.e. réduire la vulnérabilité des personnes, des biens et de l'environnement aux risques naturels majeurs et hydrauliques) (PLF, 2018).

Le comportement des élus dépend de leur perception du risque sismique. Cette perception est liée à l'occurrence des tremblements de terre, et fait défaut en France métropolitaine. On constate également un comportement et un point de vue différents entre élus ruraux et élus urbains, nous questionnant sur une certaine inégalité du citoyen

à l'échelle du territoire. La problématique liée à la décentralisation des compétences entre les gouvernements locaux et nationaux renforce ce sentiment d'inégalité du fait de cette décentralisation, qui ne facilite pas la compréhension des responsabilités, rappelé lors du séisme de L'Aquila en 2009, ou lors de l'essai sismique de Maurienne de 2017.

Le cadre légal des missions d'une collectivité place la qualité et l'évaluation de l'amélioration continue dans le processus de pilotage et de management. C'est à ces niveaux que la politique de prévention des risques naturels et notamment du risque sismique est élaborée. Dans notre modèle, l'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques dépendra de la politique de gestion des risques naturels mise en place (Dordain et Liolios, 2015), conforme à la démarche qualité empruntée au processus mis en place dans les services publics.

Pour gérer les risques sismiques, les moyens sont définis comme une intervention réalisée sur un territoire pour limiter le préjudice. Ils peuvent être de nature « structurelle » (principalement des travaux) ou « non structurelle » (principalement des actions de réduction de l'exposition à l'aléa, de la vulnérabilité et l'amélioration de la conscience et de la connaissance du risque) (Christin et al., 2014).

De façon générale, la démarche d'amélioration continue, selon le principe de la roue de Deming, est structurée autour de quatre items essentiels (Gorenflo et Moran, 2010 ; Chardonnet et Thibaudon, 2014 ; Silva et al., 2017) qui serviront de base à l'élaboration des indicateurs :

- a. Planification : cette phase consiste à planifier des actions en fonction de la situation afin d'identifier et formaliser les priorités pour répondre au cadre réglementaire des risques naturels, de définir les objectifs de qualité à atteindre dans le champ de la prévention des risques naturels, d'établir et de planifier les ressources à mettre en œuvre.
- b. Réalisation : cette phase a pour objectif de mettre en œuvre et de déployer les actions planifiées et adaptées par les personnes publiques dans le respect des réglementations.
- c. Contrôle : cette phase consiste à contrôler la réalisation des actions planifiées, à mesurer les résultats obtenus à la fin de la mise en œuvre et à comparer les résultats relevés aux objectifs préalablement attendus afin d'évaluer l'efficacité des actions. Cette phase implique aussi la traçabilité et le renseignement de tableaux de bord de suivi et de résultats.

- d. Amélioration : cette phase permet aux personnes publiques responsables de s'assurer que l'efficacité des actions mises en œuvre s'inscrit dans la durée. Concrètement, il peut s'agir de réajuster avec de nouvelles mesures afin d'atteindre l'objectif fixé. Cette phase a aussi pour nature de pérenniser les actions par l'actualisation ou l'écriture de nouvelles procédures.

7.3.1.1 Indicateurs de la matrice Moyens

Les indicateurs sont « une donnée objective qui décrit une situation qualitative rendant fidèlement compte du phénomène mis sous contrôle » (Selmer, 2018). Les indicateurs choisis sont ceux qui pourraient être évalués par le juge administratif au moment de son appréciation de l'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques. Ils sont définis en tenant compte des éléments de la politique nationale de prévention du risque sismique portée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire relatifs aux sept piliers de prévention (MTES, 2020b), du cadre d'actions de prévention du risque sismique établi par le COPRNM (COPRNM, 2013) et des composantes de la gestion du fonds de prévention des risques naturels majeurs (PLF, 2018) (section 2). Ils s'appuient également sur la jurisprudence nationale et internationale et sur l'enquête menée sur le risque sismique.

Deux catégories d'indicateurs élémentaires ont été identifiées : les indicateurs relatifs à la culture du risque sismique et les indicateurs relatifs aux mesures (Figure 7.1).

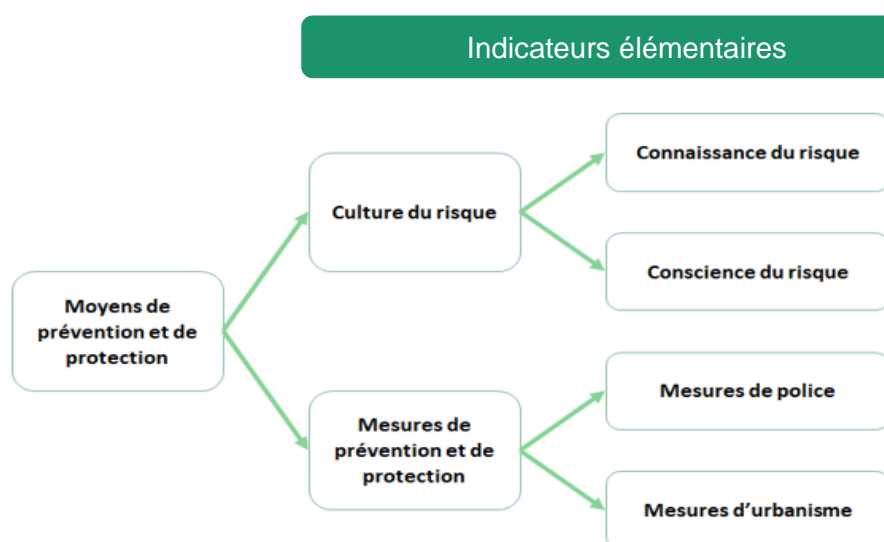


Figure 7.1. Organigramme des indicateurs élémentaires évaluant la qualité de mise en œuvre des moyens de prévention et de protection

7.3.1.1.1 Indicateurs relatifs à la culture du risque

La culture du risque est une dimension essentielle de la politique de prévention des risques naturels pour la compréhension et l'application des mesures de police et d'urbanisme par l'élu (PLF, 2018). Elle prend en compte la connaissance et la conscience du risque, indispensable à la mise en œuvre de moyens de prévention et au désir de faire respecter les règles et les réglementations (Kunreuther et al., 2013 ; Meyer et Kunreuther, 2017). Les indicateurs sont listés dans les Table 7.3. et 7.4. La liste comprend un total de 16 indicateurs. 6 indicateurs pour caractériser la connaissance et 10 indicateurs pour caractériser la conscience du risque.

Table 7.3. Indicateurs de la connaissance du risque sismique associée à la culture du risque

Indicateur	Signification
Zonage sismique de la commune	Délimitation des zones de sismicité du territoire français (Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010).
Frise chronologique des événements naturels	Connaissance des événements naturels historiques sur la commune.
Cadre réglementaire du risque sismique	Prévention du risque sismique (Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010). Connaissance des rôles précis de chaque acteur du gouvernement local, régional ou national par rapport au risque sismique.
Réglementation parasismique	Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et règle de construction parasismique : règles Eurocode 8.
Responsabilité de l'élu relative au risque sismique	Connaissance des poursuites possibles si un séisme provoque un préjudice.
Instances scientifiques et coordination	Connaissance des instances scientifiques avec lesquelles il est possible de travail en coopération.

Table 7.4. Indicateurs de la conscience du risque sismique associée à la culture du risque

Indicateur	Signification
Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	Cartographie des zones comportant des enjeux sociaux importants.
Vulnérabilité des bâtiments	Cartographie des bâtiments vulnérables face au risque sismique.
Scénarii de simulation de crises	Mise en place d'exercices de crise sismique de grande ampleur type Exercice Richter.
Communication interservices	Communication et travail en équipe.
Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	Acteurs dédiés à ce risque dans la commune ou l'intercommunalité.
Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	Appropriation de la connaissance à partir des documents opposables ou informatifs (C. urb., L. 121-2 ; R. 121-1) et formations auprès de scientifiques et de tables rondes.
Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	Allocation d'un budget pour renforcer des bâtiments suivant la réglementation parasismique.
Budget et ressources nécessaires	Allocation de ressources dans le but de faire de la commune, une commune résiliente.
Certification ou label spécifique	Certification ISO 9001 ou autre label spécifique.
Participation à des travaux de recherche	Travaux nationaux ou internationaux.

7.3.1.1.2 Indicateurs relatifs aux mesures

En cas de préjudice, et selon les jurisprudences et le cadre réglementaire, le juge administratif baserait son appréciation de la responsabilité en évaluant la mise en place des mesures de police et d'urbanisme.

Les indicateurs relatifs aux mesures issus de Requillart (2014) reprennent cette distinction, ils sont décrits dans les Table 7.5. et 7.6. La liste comprend un total de 16 indicateurs : 8 indicateurs pour caractériser les mesures de police et 8 indicateurs pour caractériser celles d'urbanisme.

Table 7.5. Indicateurs des mesures de police associées aux mesures de prévention et de protection (d'après Requillart, 2014)

Indicateur	Signification
DICRIM à jour	Elaboration, actualisation périodique et mise à disposition du public (C. env., art. R. 125-11 et suivants).
Affichage et signalisation	Appliquer l'obligation d'affichage des risques sur certains bâtiments ou terrains (C. env., art. R. 125-12 et suivants). Mesures de police générale : signalisation, information sur des dangers particuliers (CGCT., art. L. 2212-5).
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	Mise en place de bulletin municipal, d'un site communal, d'actions ciblées vers les citoyens etc.
Réunions	Information de la population dans les zones à risques majeurs (C. env., art. R. 125-10).
PCS fait et mis à jour	Elaboration et actualisation (C. séc. int., art. L. 731-3 ; décret n°2005-1156 du 13 septembre 2005).
Travaux d'entretien d'ouvrages	Gestion des ouvrages communaux de protection (C. env., L. 562-8-1 ; R. 214-112 et suivants).
Etudes sismologiques/Programme de recherche	Evaluation du risque pour différents niveaux de l'aléa (C. env., art. L. 562-1 ; R. 566-6) et demande motivée à adresser à l'Etat et à ses établissements publics (C. env., art. L. 563-5 ; R. 563-16 et suivants).
Décisions protectrices	Alerte, réactivité des mesures, retour à la normale.

Table 7.6. Indicateurs des mesures d'urbanisme associées aux mesures de prévention et de protection (d'après Requillart, 2014)

Indicateur	Signification
PPRN approuvé et mis en place	Application et contrôle des dispositions du PPRN. Mise en œuvre des dispositions prescrites ou recommandées à la commune, dans le cadre de ses compétences (C. env., art. L. 562-1 et suivants ; L. 563-1 ; R. 562-1 et suivant ; R. 563-8).
PPRN annexé au PLU	A annexer au PLU (C. urb., art. L. 126-1).
PLU/règle d'urbanisme	Elaboration, révision modification, mise en comptabilité et mise à jour des documents d'urbanisme (C. urb., art. L. 151-1 à 154-4).
Urbanisme régulé	Contrôler l'urbanisme et le réguler aux regards de la réglementation.
Demande d'utilisation du Fonds Barnier	Examen des possibilités de financement pour l'amélioration de la connaissance, la prévention et la mise en place de dispositifs de protection (C. env., art. L. 561-3 ; R. 561-17 ; C. F., art. D. 142-17 et suivants ; Projet de Loi de Finance, 2019).
Sécurité des ouvrages de protection	Recensement des ouvrages de protection avec évaluation de l'état et du niveau réel de protection (C. env., art. R. 214-115 et suivants) et planification des réajustements.
Permis de construire/Information IAL	<p>Examen de la demande de permis de construire d'après le règlement national d'urbanisme (C. urb., art. R. 111-2) et vérification des dispositions parasismiques (C. const. hab., art. R.111-38 ; C. urb. art. R.431-16 ; R.462-4).</p> <p>Mise à disposition des informations IAL pour l'établissement de l'état des risques et le bilan des indemnités CatNat.</p> <p>Contrôle de légalité de l'application des règles parasismique par les services de l'état.</p>
Travaux de renforcement parasismique	<p>Possibilité d'entreprendre des travaux de renforcement des bâtiments suivant les règles parasismiques (Eurocode 8) (Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010).</p> <p>% de confortement aux normes parasismiques des bâtis publics stratégiques.</p> <p>Cadres d'actions pour la prévention sismiques.</p>

7.3.1.2 Cotation des indicateurs

Chacun des indicateurs ci-dessus exposés est apprécié selon son statut relatif à sa mise en œuvre ou son avancement. Quatre Niveaux reprennent les quatre étapes de la démarche d'amélioration continue (planification, réalisation, contrôle, amélioration) (Table 7.7.) extraite du référentiel Marianne adopté par les collectivités pour l'accueil du public :

- Niveau 1 : Rien n'est encore mis en place ou rien n'est connu ;
- Niveau 2 : Les pratiques des mesures/connaissances sont définies et mises en œuvre de manière partielle ;
- Niveau 3 : Les mesures/les connaissances sont en conformité avec la réglementation et/ou contrôlées avec traçabilité ;
- Niveau 4 : Les mesures/connaissances sont mises en œuvre, ajustées et pérennisées.

Table 7.7. Status des indicateurs et niveau de cotation repris du référentiel Marianne

Statut des indicateurs	Cotation
Niveau 1 : Absent	1
Niveau 2 : Définir, Planifier, Réaliser et Mesurer	2
Niveau 3 : Analyser et Contrôler	3
Niveau 4 : Améliorer, Ajuster et Pérenniser	4

Les Tables 7.8. et 7.9. traduisent respectivement les indicateurs et leur cotation associés d'une part à la culture du risque, et d'autre part, aux mesures de prévention et de protection. La cotation représentative de la situation de la collectivité est inscrite dans la colonne du tableau « cotation choisie ». Par exemple, si l'indicateur « DICRIM à jour » (Table 7.9.) remplit le niveau 4, c'est-à-dire mis en pratique, ajusté et pérennisé, alors cet indicateur sera coté à 4. En revanche si cette action ne remplit que le premier niveau, c'est-à-dire que le DICRIM n'est ni mis à jour ou ni mis en place, alors l'indicateur sera noté à 1.

Un autre exemple peut être donné concernant l'indicateur « PPRN approuvé et mis en place ». Dans le tableau 7.9., il est proposé de qualifier l'état d'avancement de la procédure PPRN par rapport à sa conformité avec le cadre réglementaire. En s'inspirant

de l'évaluation de la contribution des PPRI à la réduction de la vulnérabilité collective et individuelle (MRN, 2009), dans le cas où le PPRN est approuvé, qu'il s'agisse d'une nouvelle ou ancienne procédure, ou dans le cas d'un PPRN prescrit depuis moins de 4 ans, alors la procédure est régulière et la cotation de l'indicateur est de 4. En revanche, la cotation de l'indicateur est de 1 si la procédure est perturbée, c'est-à-dire dans le cas où le PPRN est prescrit depuis plus de 4 ans ou en cas d'absence d'information sur l'état d'avancement de la procédure.

La somme de toutes les cotations permettra d'apprécier les moyens mis en place et sera indiquée dans la case « Total du cycle ». En utilisant ces tableaux, les collectivités font leur propre autodiagnostic de leur politique de gestion des risques naturels. De ce fait, ces tableaux, aussi considérés comme grille d'audit ou de lecture, caractérisent un outil d'aide à la décision.

Table 7.8. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque suivant la démarche qualité, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune		Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	
Frise chronologique des événements naturels		Vulnérabilité des bâtiments	
Cadre réglementaire du risque sismique		Scénarii de simulation de crises	
Réglementation parasismique		Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	
Responsabilité de l'élu relative au risque sismique		Communication interservices	
Instances scientifiques et coordination		Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	
		Budget et ressources nécessaires	
		Certification ou label spécifique	
		Participation à des travaux de recherche	
Total du cycle		Total du cycle	

Table 7.9. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection suivant la démarche qualité, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour		PPRN approuvé et mis en place	
Affichage et signalisation		PPRN annexé au PLU	
Sensibilisation/Formation préventive du grand public		PLU/règle d'urbanisme	
Réunions		Urbanisme régulé	
PCS fait et mis à jour		Demande d'utilisation du Fonds Barnier	
Travaux d'entretien d'ouvrages		Sécurité des ouvrages de protection	
Etudes sismologiques/ Programmes de recherche		Permis de construire/ Information IAL	
Décisions protectrices		Travaux de renforcement parasismique	
Total du cycle		Total du cycle	

7.3.1.3 Evaluation de *α*moyens

Nous partons du principe que toutes les réglementations et recommandations doivent être appliquées et toutes les étapes de la démarche qualité (roue de Deming) doivent être renseignées. Un cycle qui référence tous les indicateurs au niveau 1 (Table 7.8. & 7.9.), c'est-à-dire que rien n'est mis en place et/ou à l'état de planification, a une cotation qui vaut 32. Toutefois, un cycle qui référence tous les indicateurs au niveau 4 (Table 7.8. & 7.9.), a une cotation qui vaut 128, c'est-à-dire que 100% des moyens de prévention et de protection sont effectifs.

La relation entre la cotation calculée, la classe des moyens de prévention et de protection mis en place et le coefficient des moyens α_{moyens} est indiquée Table 7.10. La responsabilité des personnes publiques sera d'autant plus engagée que les moyens de prévention et de protection sont déficients et/ou inadaptés aux exigences réglementaires et aux recommandations. α_{moyens} est une donnée d'entrée du modèle de prédiction des conséquences juridiques.

Table 7.10. Classification de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque sismique et coefficient d'application associé obtenu selon la cotation dans la démarche qualité

Côte	Pourcentage	Classe	Coefficient d'application α_{moyens}
$0 < Côte \leq 32$	$0 < Côte \leq 25\%$	Moyens de prévention et de protection de base	4
$32 < Côte \leq 66$	$25\% < Côte \leq 50\%$	Moyens de prévention et de protection définis	3
$64 < Côte \leq 96$	$50\% < Côte \leq 75\%$	Moyens de prévention et de protection maîtrisés	2
$96 < Côte \leq 128$	$75\% < Côte \leq 100\%$	Moyens de prévention et de protection optimisés	1

7.3.2 Diagramme de Farmer et principe ALARP

Deux méthodes définissant le risque acceptable, sont intégrées à notre modèle de prédiction des conséquences juridiques : le diagramme de Farmer et le principe ALARP.

L'analyse des risques sociétaux acceptables est initiée par Farmer au travers de ces travaux pour l'autorité de sûreté nucléaire anglaise (UK –Atomic Energy Authority) (1967). Kinchin (1982) améliore cette analyse en convertissant les courbes de Farmer en courbes fréquence-nombre (FN) de victimes (Leroi, 2005). C'est en 1974 que le rapport du Health and Safety Executive (HSE) affine la définition des critères d'acceptabilité du risque en y intégrant le principe ALARP (« As Low As Reasonable Practicable ») dans le cadre du management des risques et de la prise de décision (HSE, 1988). La première apparition du principe ALARP dans la réglementation française date de 1977, dans le décret d'application de la loi du 19/07/76 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). ALARP est devenu le cadre standard des critères de risque acceptable et s'est développé dans tous les secteurs industriels (Flauw et Lenoble, 2014).

Le principe ALARP doit être identifié comme un « système d'aide à la décision relatif à l'acceptabilité du risque » (Flauw et Lenoble, 2014). Il permet de justifier et d'aiguiller la décision en faveur ou en défaveur de la mise en place d'une nouvelle mesure de réduction du risque afin de transférer un risque vers une zone où celui-ci devient négligeable (Flauw et Lenoble, 2014). Le principe ALARP permet d'identifier la zone de risque dans laquelle l'effort pour le diminuer n'est plus raisonnable par rapport à l'engagement financier (Yasseri, 2013).

Concernant le risque sismique, le principe ALARP prend tout son sens puisque « si dans l'absolu, il est aujourd'hui possible de mettre en œuvre des techniques de construction capables de limiter les dégâts d'un séisme, appliquer ces techniques à tous les bâtiments déjà construits et à construire est irréaliste et incompatible avec les possibilités d'une puissance économique, même très riche. Le problème est donc pour le législateur de définir ce niveau [de protection] et de le traduire en termes réglementaires. Ce choix relève obligatoirement d'un consensus national et traduit le compromis accepté par la société entre les exigences pour sa propre sécurité et la volonté d'y consacrer les moyens appropriés » (Cahiers, 1990). On peut ainsi trouver des applications ALARP au risque sismique (Liu et Xie, 2008 ; Tsang et al., 2020) et à différents risques naturels (Finlay et Fell, 1997 ; Bowles, 2003 ; Schanze, 2006). Liu et Xie (2008) étudient le niveau de risque acceptable en fonction de la capacité de la ville à réduire les catastrophes sismiques, via les mesures de prévention, en intégrant la probabilité de défaillance et les conséquences de l'échec de la mesure. Tsang et al., (2020) développent une approche pour évaluer le niveau de sécurité sismique basé sur le risque de mortalité sociétal avec une exigence réglementaire qui vise à limiter le taux de mortalité au plus bas possible. Le principe ALARP est aussi adapté pour vérifier la sécurité parasismique des bâtiments existants, comme le fait le Conseil fédéral suisse au travers de ses normes SIA (BWG et al., 2005), via la limite du risque tolérable pour la protection parasismique. Ils comparent cette valeur seuil au facteur de conformité afin de juger si les moyens proposés pour réduire le risque sont justifiés dans la mesure où le coût de sauvetage, c'est-à-dire l'investissement consenti pour sauver une vie humaine, est proportionnel.

C'est dans cette même logique que nous souhaitons déployer ce principe ALARP dans le domaine juridique pour mesurer la réduction du risque d'engagement de la responsabilité (Figure 7.2.). La Figure 7.2. représente une schématisation des courbes fréquence (probabilité) - conséquence (préjudice). Chaque courbe représente un comportement de la collectivité en fonction de la maturité des moyens de prévention et de protection mis en place. Les mesures de prévention font référence à la diminution de la probabilité d'engagement de la responsabilité quel que soit le niveau du préjudice, alors que les mesures de protection modulent le préjudice (Flauw et Lenoble, 2014).

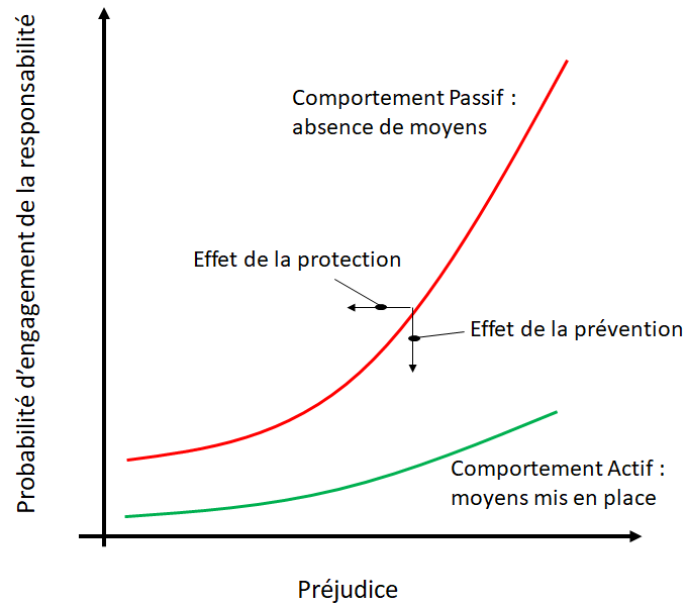


Figure 7.2. Schématisation du modèle de prédiction des conséquences juridiques suivant le principe ALARP : courbes de la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative en fonction du préjudice et du degré de maturité des moyens de prévention et de protection mis en place représentant le comportement des communes vis-à-vis de la gestion du risque sismique.

Dans notre modèle, trois niveaux d'engagement de la responsabilité administrative sont définis (Faible, Modéré, Fort) respectivement associés à un code couleur (vert, jaune, rouge) selon un processus dit du feu tricolore (Farmer, 1967) (Table 7.11.).

Table 7.11. Matrice du risque d'engagement de la responsabilité administrative en fonction de la gravité des conséquences

Classe du Préjudice μ_{cons} Qualité des Moyens α_{moyens}	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
	Moyens < 25%	0	4	8	12	16
25% ≤ Moyens < 50%	0	3	6	9	12	15
50% ≤ Moyens < 75%	0	2	4	6	8	10
75% ≤ Moyens	0	1	2	3	4	5

Il est important de noter que le risque d'engagement de la responsabilité peut être élevé en cas de catastrophe même si la qualité des moyens de prévention et de protection est supérieure à 75%.

De plus il est possible de représenter la probabilité d'engagement de la responsabilité (ER) par rapport au préjudice en adaptant le principe ALARP à notre étude. La Figure 7.3. représente les courbes de comportement d'une collectivité illustrées par le principe ALARP. On observe quatre types de comportement allant du comportement pro-passif (rouge) au comportement pro-actif (vert). A chaque niveau de préjudice, il est possible d'avoir une variabilité dans la probabilité de l'engagement de la responsabilité administrative, obtenue par une loi normale. Cette variabilité permet de prendre en considération la fluctuation de l'appréciation d'engagement de la responsabilité par le juge administratif.

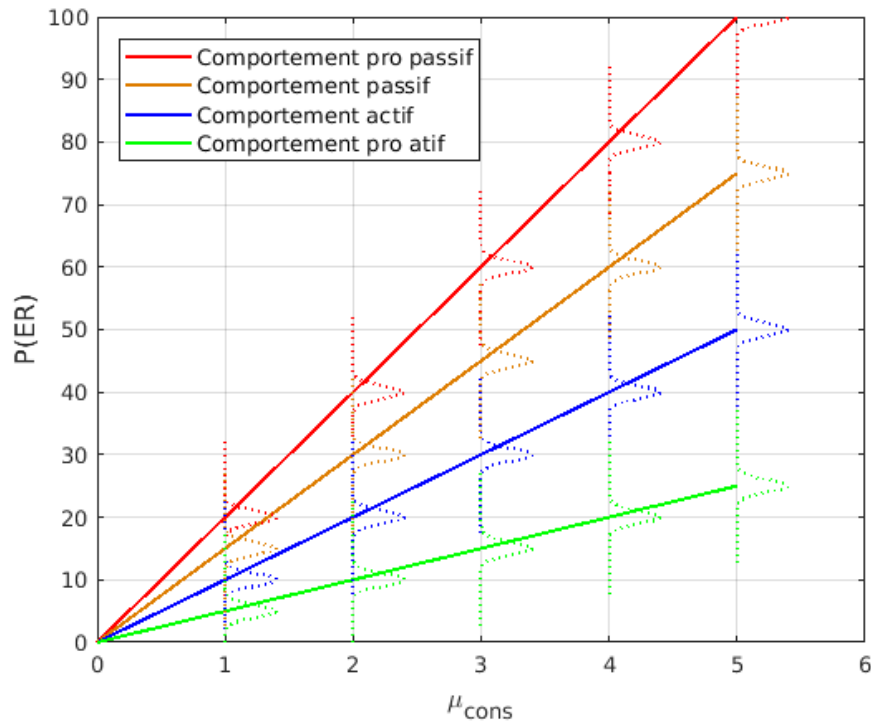


Figure 7.3. Courbes représentant la probabilité d'engagement de la responsabilité $P(\text{ER})$ en fonction du préjudice subi μ_{cons} illustrées par le principe ALARP définissant quatre types de comportement des collectivités (Table 7.1.).

7.3.3 Conclusions

Plus les conséquences sont graves, plus la responsabilité administrative est susceptible d'être engagée. De la même façon, le risque d'engagement de la responsabilité reste élevé lorsque les moyens de prévention et de protection sont peu appliqués.

Le modèle de prédiction des conséquences juridiques compte de nombreux avantages. Adaptable aux divers besoins des décideurs publics ou des collectivités, c'est un outil d'aide à la décision qui favorise la prise en compte de plusieurs paramètres qualitatifs comme : plan de modernisation, le contexte réglementaire ou encore l'impact de plusieurs scénarios. Cette démarche est très rapide à appliquer. La méthode développée dans cette étude peut être déclinée pour d'autres situations telle que la recherche de probabilité d'engagement de la responsabilité pour les scientifiques.

Toutefois le modèle juridique montre aussi des limites. En effet, pour respecter les objectifs de simplicité de mise en œuvre du modèle, nous avons adopté certains partis pris qu'il faut garder à l'esprit lors de son application comme par exemple, l'absence de prises en compte des moyens alloués différents entre différentes villes (petite et grande).

7.4 Exemple d'application du modèle

Dans cette section, le modèle de prédiction des conséquences juridiques développé dans cette étude est testé à la tempête Xynthia (France) en 2010 et au séisme L'Aquila (Italie) en 2009 déjà jugés. Les cotations attribuées sont identifiées dans l'annexe 3.

7.4.1 La tempête Xynthia

Concernant la tempête Xynthia, l'étude des décisions juridiques rendues (CAA Nantes, 10 décembre 2019, n°s 18NT01531, 18NT01546, 18NT01620, 18NT01621, 18NT01642, TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014) et des documents réglementaires de la commune permet de rendre une analyse sur les moyens de prévention et de protection existants sur cette commune à la date de l'événement. Comme le cas de Xynthia concerne le risque tempête, nous ne considérons que les indicateurs de la matrice moyens de prévention et de protection communs aux risques tempête et sismique.

Pour Xynthia, les indicateurs relatifs à la culture du risque sont au nombre de 10 (Table 7.3. & 7.4.) et les indicateurs relatifs aux mesures sont au nombre de 15 (Table 7.5. & 7.6.). Le cycle total des moyens de prévention et de protection (Table 7.8. & 7.9.) donne une cotation de 47 sur 100 (Annexe 3). Le statut des moyens mis en place est donc entre [25% ; 50% [. Cette cotation fournit la classe des moyens de prévention et de protection comme définis Table 7.10. Le coefficient d'application α_{moyens} associé vaut 3 (Table 7.10.).

Le préjudice social subi est de 49 morts, ce qui correspond à un dommage humain classant le préjudice comme un accident très grave (Table 7.1.). Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé, vaut 3 d'après le Table 7.1.

Le niveau d'engagement de la responsabilité de la commune de la Faute-sur-Mer est calculé selon l'Eq.7.1. appliquée à la Table 7.11. (Figure 7.3.). On obtient un engagement de la responsabilité administrative fort (Annexe 3). D'après ces résultats, la commune de La Faute-sur-Mer semble avoir adopté un comportement passif vis-à-vis de la gestion du risque tempête dans le cas de Xynthia en 2010. La Figure 7.4. montre une probabilité d'engagement de la responsabilité de 45%.

Comparée à la décision rendue du juge administratif, c'est-à-dire une responsabilité de la commune de la Faute-sur-Mer à hauteur de 50% par la Cour administrative d'appel, on constate une évaluation du même d'ordre de grandeur. La responsabilité de la commune avait été engagée dans la mesure où son maire a manqué d'informer la

population de la Faute-sur-Mer des risques d'inondation auxquels elle était exposée et où des permis de construire dans des zones à risque ont été délivrés, sans les assortir de prescriptions suffisantes pour prévenir le danger (CAA Nantes, 10 déc. 2019, n°18NT01531 ; 18NT01546 ; 18NT01620 ; 18NT01621 ; 18NT01642).

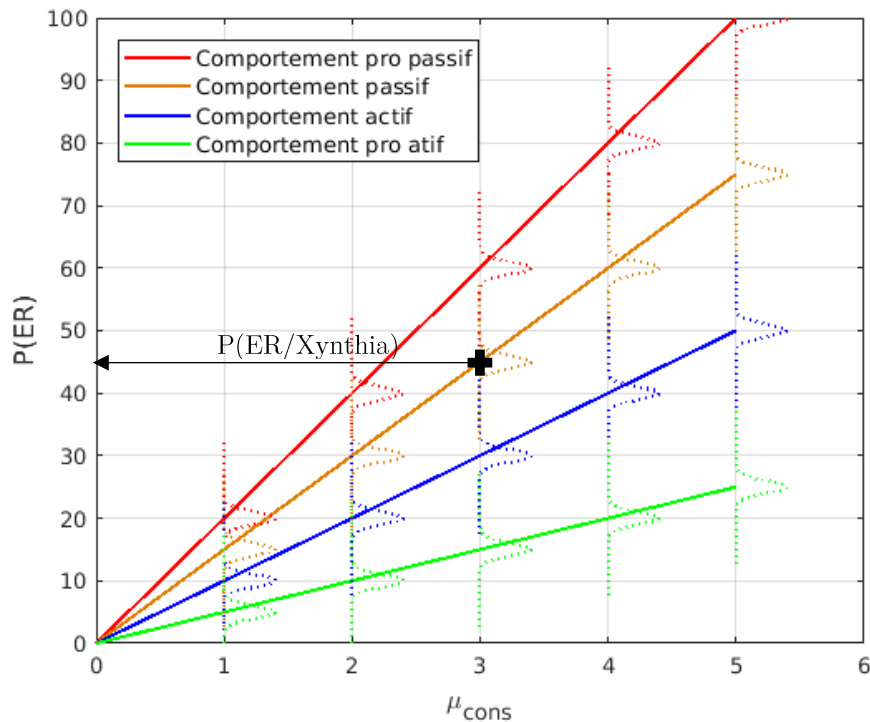


Figure 7.4. Courbe représentant la probabilité d'engagement de la responsabilité de la commune de La Faute-sur-Mer $P(ER/Xynthia)$ relatif au cas de Xynthia en 2010 adoptant un comportement passif et avec un préjudice de classe accident très grave ($\mu_{cons} = 3$).

7.4.2 Le séisme de L'Aquila

Concernant le séisme de L'Aquila, l'étude des décisions juridiques rendues (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013), des documents réglementaires de la commune et de l'état de l'art (Imperiale et Vanclay, 2018) permettent de rendre une analyse à posteriori sur les moyens de prévention et de protection existants sur cette commune. Comme le cas du séisme de L'Aquila concerne la réglementation italienne,

nous ne considérons que les indicateurs de la matrice moyens de prévention et de protection communs à la gestion du risque sismique italien et français.

Pour L'Aquila, les indicateurs relatifs à la culture du risque sont au nombre de 15 (Table 7.3. & 7.4.) et les indicateurs relatifs aux mesures sont au nombre de 13 (Table 7.5. & 7.6.). Le cycle total des moyens de prévention et de protection (Table 7.8. & 7.9.) donne une cotation de 61 sur 112, soit une mise en place des moyens de 54% pour le cas de L'Aquila (Annexe 3). Le statut des moyens mis en place est donc entre [50% ; 75% [, c'est-à-dire une qualité maîtrisée des moyens de prévention et de protection (Table 7.10.). Le coefficient d'application α_{moyens} associé vaut 2 (Table 7.10.).

Le préjudice social subi est de 308 morts et le préjudice économique est estimé à 5 milliards de dollars US à l'année du séisme (EMDAT, 2018). La classe retenue de l'événement est celle qui correspond à l'impact humain ou économique le plus élevé, c'est-à-dire un dommage classant le préjudice comme une catastrophe majeure (Table 7.1.). Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé, vaut 5 d'après le Table 7.1.

L'équation 7.1. et la Table 7.11. donnent un engagement de la responsabilité (ER) fort (Annexe 3). D'après ces résultats, le comportement adopté est qualifié comme actif vis-à-vis de la gestion du risque sismique dans le cas de L'Aquila en 2009. La Figure 7.5. montre une probabilité d'engagement de la responsabilité de 50%, à comparer à la décision rendue par les juges (coupable, condamné à 2 ans de prison).

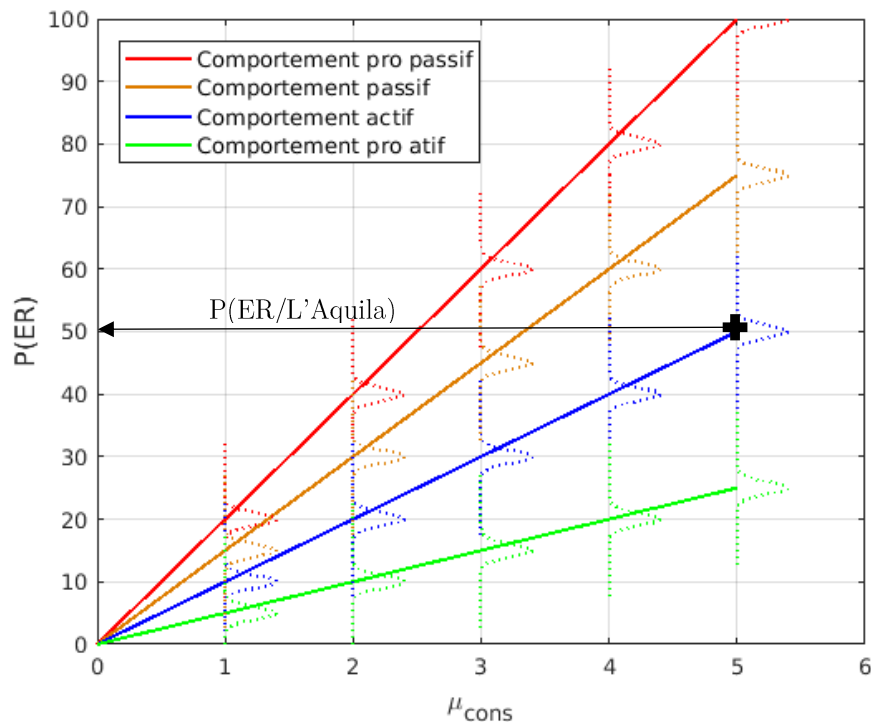


Figure 7.5. Courbe représentant la probabilité d'engagement de la responsabilité du responsable du gouvernement $P(ER/L'Aquila)$ relatif au cas de L'Aquila en 2009 adoptant un comportement actif et avec un préjudice de classe catastrophe majeure ($\mu_{cons} = 5$).

7.5 Résumé et conclusions

Dans ce chapitre, un modèle d'engagement de la responsabilité des personnes publiques a été développé. La responsabilité administrative est susceptible d'être engagée seulement en présence de préjudices et si un lien de causalité entre le fait générateur et le préjudice existe. Dans cette logique, le lien de causalité est ici identifié à travers l'investissement consenti pour les moyens de protection et de prévention.

Pour répondre aux attentes des décideurs publics concernant leur besoin de connaissance sur leur risque de responsabilité face aux risques naturels et plus particulièrement au risque sismique, cette étude a fourni un modèle empirique de prédiction des conséquences juridiques. L'approche méthodologique repose d'une part, sur des concepts et des méthodes empruntés à d'autres disciplines, telles que le champ de l'administration publique, de l'environnement et de la gestion du risque naturel en exploitant la démarche ALARP, les courbes de Farmer et la démarche qualité. D'autre part, l'analyse de la jurisprudence internationale et nationale relative aux risques naturels, et en particulier sismique, l'étude de la réglementation et l'exploitation des

résultats de l'enquête sur le risque sismique présentée en chapitre 2 ont contribué à finaliser des fonctions spécifiques d'engagement de la responsabilité administrative. Ce modèle est considéré comme un outil d'aide à la décision pour les personnes publiques. Si l'application et le suivi des moyens de la prévention et de la protection d'un territoire impactent fortement le budget des communes et peut représenter une charge non prioritaire en l'absence d'événement naturel, cette charge s'avère rentable à la fois pour sécuriser la population et l'élu lorsque l'évènement naturel, ici le séisme, se produit.

Ce travail présente cependant, certaines limites à prendre en compte. Premièrement, pour répondre à l'intérêt des collectivités dans lesquelles la responsabilité administrative est traitée par leur service juridique interne, ce modèle se concentre seulement sur la juridiction administrative. En effet, bien qu'existant, l'engagement de la responsabilité pénale n'est pas considéré dans ce modèle puisque les condamnations pénales relatives au risque sismique voire au risque naturel ne sont que très rares. Deuxièmement, dans un souci de simplicité d'application du modèle, il manque à ce modèle une expression des incertitudes qui soit pertinente. Celle-ci pourrait être évaluée en particulier vis-à-vis des décisions du juge administratif, puisqu'in fine, la décision finale concernant l'engagement de la responsabilité administrative reviendra au juge. Cette décision est prise en tenant compte des mesures des moyens que la collectivité a en sa possession. Enfin, en adaptant les indicateurs de la matrice Moyens de ce modèle, il est possible de tester le modèle d'engagement de la responsabilité soit sur d'autres risques naturels (par exemple, les inondations, les avalanches...), soit sur d'autres acteurs du risque sismique (par exemple, l'engagement de la responsabilité des experts scientifiques).

8 Prédications des conséquences économiques, sociales et juridiques à Nice et Grenoble

Dans ce chapitre, l'approche déterministe est suivie pour tester des scénarios de séismes, ce qui permet de rendre compte de la situation que peut provoquer un évènement sismique sur des zones potentiellement affectées. Plusieurs scénarios sont proposés, sur les deux cibles géographiques : Grenoble et Nice. Nous présentons dans un premier temps une courte définition d'un comportement actif et passif que peuvent adopter des communes face au risque sismique. Puis, dans un deuxième et troisième temps, nous exposons les résultats de cinq scénarios sismiques appliqués sur la Métropole de Nice Côte d'Azur, sur Grenoble Alpes Métropole et sur la ville de Grenoble et obtenus grâce aux modèles de prédiction des pertes économiques et sociales développés dans le chapitre 4 et au modèle de prédiction de l'engagement de la responsabilité administrative de la personne publique développé au chapitre 7. La différence de maturité des moyens de prévention et de protection mises en œuvre dans ces cas d'application affecte considérablement le degré ou la sévérité d'engagement de la responsabilité administrative de la personne publique. Ce travail a bénéficié de l'accompagnement du service Risques Majeurs de la Métropole Nice Côte d'Azur, du service Risque de Grenoble Alpes Métropole et du service Sécurité Civile de la ville de Grenoble.

8.1 Introduction

La représentation des conséquences économiques et humaines dues à un séisme est une étape essentielle à la gestion du risque sismique. Elle doit servir d'appui aux autorités locales et aux décideurs publics pour la définition de leurs actions et de leur politique pour maîtriser le risque (Jaiswal et al., 2010 ; Dunand et Guéguen, 2012). Pour cela, elle traduit les résultats d'un processus scientifique complexe de façon simplifiée et compréhensible par les décideurs. Elle sert également de support à l'information et à l'éducation des populations s'inscrivant en cela dans les axes prioritaires des cadres d'actions internationaux (UNISDR, 2007, 2015), eux-mêmes déclinés au niveau national et local dans les documentaires réglementaires et les programmes d'actions (CAPRIS, DICRIM).

Dans un pays à sismicité modérée, où le temps politique est bien trop court par rapport à la période de retour des séismes significatifs, cette représentation ne suffit pas toujours à enclencher les opérations nécessaires à la réduction du risque sismique. Pour cette raison, nous avons choisi un autre axe de sensibilisation : la conséquence juridique pour l'administration et ses représentants en charge de la gestion des risques naturels.

Dans ce chapitre, nous réalisons l'estimation des pertes socio-économiques et des conséquences juridiques à deux cas spécifiques français : Nice et Grenoble, deux agglomérations exposées au même niveau d'aléa et actives dans le domaine des risques naturels. La première partie de ce chapitre donne la définition d'un territoire actif ou passif vis-à-vis de la prévention des risques naturels, qui servira de représentation du modèle ALARP juridique. La deuxième et la troisième partie sont consacrées à l'étude de cas. Le travail en collaboration avec les acteurs de deux collectivités testées a permis de valider et de tester le modèle de prédiction des conséquences juridiques, en termes de représentation et d'évaluation, mais également pour collecter l'impression des acteurs impliqués quant à l'intérêt de ce modèle. Grenoble et Nice sont deux territoires localisés dans la région des Alpes comportant des enjeux importants, tels qu'une forte concentration urbaine, d'activités industrielles, touristiques et économiques. Les deux métropole Nice Côte d'Azur et Grenoble Alpes Métropole, ainsi que la ville de Grenoble toujours dépositaire du pouvoir de police pour la gestion des risques, ont accepté de participer à la réalisation de l'étude, en remplissant les grilles d'auto-évaluation du modèle juridique et en l'ajustant dans une démarche de co-construction territoire/recherche.

8.2 Définition

8.2.1 Territoire actif

Un territoire actif se définit par la mise en place d'actions spécifiques de prévention de ce risque. Un territoire est actif s'il met en pratique des actions adaptées en pertinence avec les événements naturels qui le menacent (CESDHLF, art. 2 et 8 ; Protocole, art. 1). « L'enjeu est de maintenir un niveau de fonctionnement grâce aux capacités et à la souplesse du système assurant sa persistance » (Villar et David, 2014). Par exemple, un territoire labélisé par le Pavillon Orange décerné aux territoires qui remplissent des conditions en termes de protection des populations face aux risques majeurs ou labélisé par les Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI) visant **à diminuer les dommages des inondations sur les territoires en utilisant une approche globale du risque (MTES, 2017c ; CEPRI, 2020), ou bien encore un territoire adoptant les recommandations du CAPRIS (COPRNM, 2013)** est considéré comme un territoire actif. Ces critères font référence aux sept piliers sur lesquels les cadres d'actions pour la prévention des risques naturels s'appuient (HCFRN, 2020). La qualification de territoire actif se définit aussi au travers de ses projets de partenariat avec des équipes de recherche sur le risque sismique (Géoazur, Isterre) et des actions auprès de la population pour l'informer et l'avertir du risque sismique sur son territoire. Il peut être considéré comme un territoire résilient en référence aux repères de « la boussole de résilience territoriale » (Cambien et Beaurez, 2020).

8.2.2 Territoire passif

En opposition, un territoire passif est caractérisé par l'inaction. Il peut être identifié comme un territoire vulnérable. Dans un territoire passif, les dommages causés par le phénomène naturel sont d'ailleurs considérables, du fait de l'importance de l'exposition des éléments. L'exposition est d'autant plus grande que les moyens de prévention et de protection ne sont pas mis en place et que la population est insuffisamment informée et formée. Finalement, un territoire passif est « le constat de l'échec ou de l'insuffisance » de la politique de la gestion des risques naturels selon Hoarau et al., (2018). De ce fait, l'absence ou l'insuffisance de mise en place de moyens de prévention et de protection, favorise à engager la responsabilité administrative de la personne publique plus fortement (Veyret et Chocat, 2005).

8.2.3 Représentation ALARP des territoires

Avec la cotation de la fonction Moyens du modèle de prédiction des conséquences juridiques (chapitre 7), il est possible de définir qualitativement si un territoire est actif ou passif pour la représentation du modèle ALARP juridique. Par définition, un territoire dit actif respecte toutes les mesures ou la majorité des mesures des tableaux Table 7.8. et Table 7.9.(chapitre 7). Le territoire actif développe une politique de gestion des risques naturels. De ce fait, chaque critère est référencé dans le niveau le plus avancé du statut de la mise en œuvre des moyens de prévention et de protection (démarche qualité, roue de Deming). Ce niveau correspond au niveau 4 (Table 8.1.) pour lequel toutes les mesures et les connaissances sont mises en œuvre, ajustées et pérennisées, c'est-à-dire maîtrisées à 100%.

A l'opposé, un territoire dit passif est un territoire pour lequel le statut de la mise en place des moyens de prévention et de protection se réfère au niveau 1 selon la démarche qualité en référence à la roue de Deming. De ce fait, un territoire passif a à minima une cotation totale comme identifiée en rouge dans Table 8.1.

Table 8.1. Définition d'un territoire actif et passif selon l'appréciation du statut de la mise en place des moyens de prévention et de protection d'après le modèle juridique développé.

Indicateurs	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Connaissance du risque	6	12	18	24
Conscience du risque	10	20	30	40
Mesures de police	8	16	24	32
Mesures d'urbanisme	8	16	24	32
Total du cycle	32	64	96	128
Signification	Territoire passif			Territoire actif

Les niveaux intermédiaires 2 et 3 (Tables 8.1.) correspondent à des cotations qui représentent 50% et 75% des moyens répartis uniformément entre les volets culture du risque et mesures de protection et de prévention.

À la vue de la jurisprudence, la personne publique d'un territoire passif a une probabilité forte d'engager la responsabilité administrative pour tout scénario dans lequel le séisme provoque des conséquences socio-économiques. En revanche, l'analyse de la jurisprudence (chapitre 5 & 6) montre que la personne publique d'un territoire actif peut également voir sa responsabilité administrative engagée. Le niveau d'engagement de la responsabilité administrative dépend des moyens de prédiction et de protection mis en œuvre, notamment de leur statut. C'est pourquoi, il est intéressant d'appliquer notre modèle de prédiction des conséquences juridiques sur deux territoires actifs distincts portant chacun leur propre politique de prévention.

8.3 Le cas d'un territoire actif : Métropole Nice Côte d'Azur

8.3.1 Contexte

Nice est la cinquième ville de France en termes de population et d'activités économiques. Le territoire niçois est classé en zone 4 de sismicité moyenne sur 5. C'est la seule métropole qui expose plus d'1.5 millions d'habitants à un niveau d'aléa sismique moyen (CGEDD, 2018 ; Cinotti et al., 2019). Située sur la Côte d'Azur bordant la chaîne montagneuse des Alpes, c'est une des régions les plus actives sismiquement de l'Europe de l'Ouest. Le mouvement de rapprochement des plaques tectoniques d'Europe et d'Afrique a directement une répercussion sur la sismicité niçoise (Courboulex et al., 2019). A cause du nombre important d'habitants et de la faible proportion de bâtiments construits selon les normes parasismiques, l'agglomération niçoise est une zone où le risque sismique est important et doit être pris en compte.

Historiquement, cette région a subi plusieurs tremblements de terre dans le passé, dont certains destructeurs. Le séisme de 1564 situé dans l'arrière-pays niçois avait provoqué des dégâts importants et plus de 300 (Larroque et al., 2001). Le séisme Ligure de 1887 d'une magnitude estimée entre 6.7 et 6.9 pour lequel l'épicentre se situait en mer dans le Golfe de Gênes, avait engendré des pertes économiques importantes et plus de 600 morts dont dix en France (Larroque et al., 2012). Des estimations sur l'impact de ce séisme de nos jours prévoient des conséquences économiques entre 11 et 14 milliards d'euros (CCR, 2016). De plus, il est à noter qu'en cas de séismes, Nice peut être totalement isolée du pays à cause du nombre faible de ses infrastructures reliant la métropole à la France (Cinotti et al., 2019). La métropole de Nice Côte d'Azur, très consciente de la présence du risque sismique sur son territoire, est un bon cas d'étude afin d'évaluer les conséquences post-sismiques autant socio-économiques que juridiques.

8.3.2 Pertes sociales et économiques

8.3.2.1 Estimation des pertes socio-économiques

Les modèles de prédictions des pertes socio-économiques développés (chapitre 4), nous permettent d'estimer les conséquences post-sismiques possibles pour un scénario déterministe. La méthode d'évaluation des pertes est appliquée à deux scénarios sismiques déterminés par Géoazur-Cerema dans la note technique du BRGM portant sur la réévaluation du risque sismique dans les Alpes-Maritimes (Monfort et al., 2018) : un premier scénario sismique pour lequel l'épicentre est localisé à Aspremont et un second scénario sismique dont l'épicentre se situe à Lantosque (Figure 8.1.). Cependant, toutes les variations paramétriques ne sont pas considérées dans cette étude. Les deux scénarios ont des caractéristiques similaires en termes de profondeur (5km) et de magnitude (6.2) et se situent à terre.

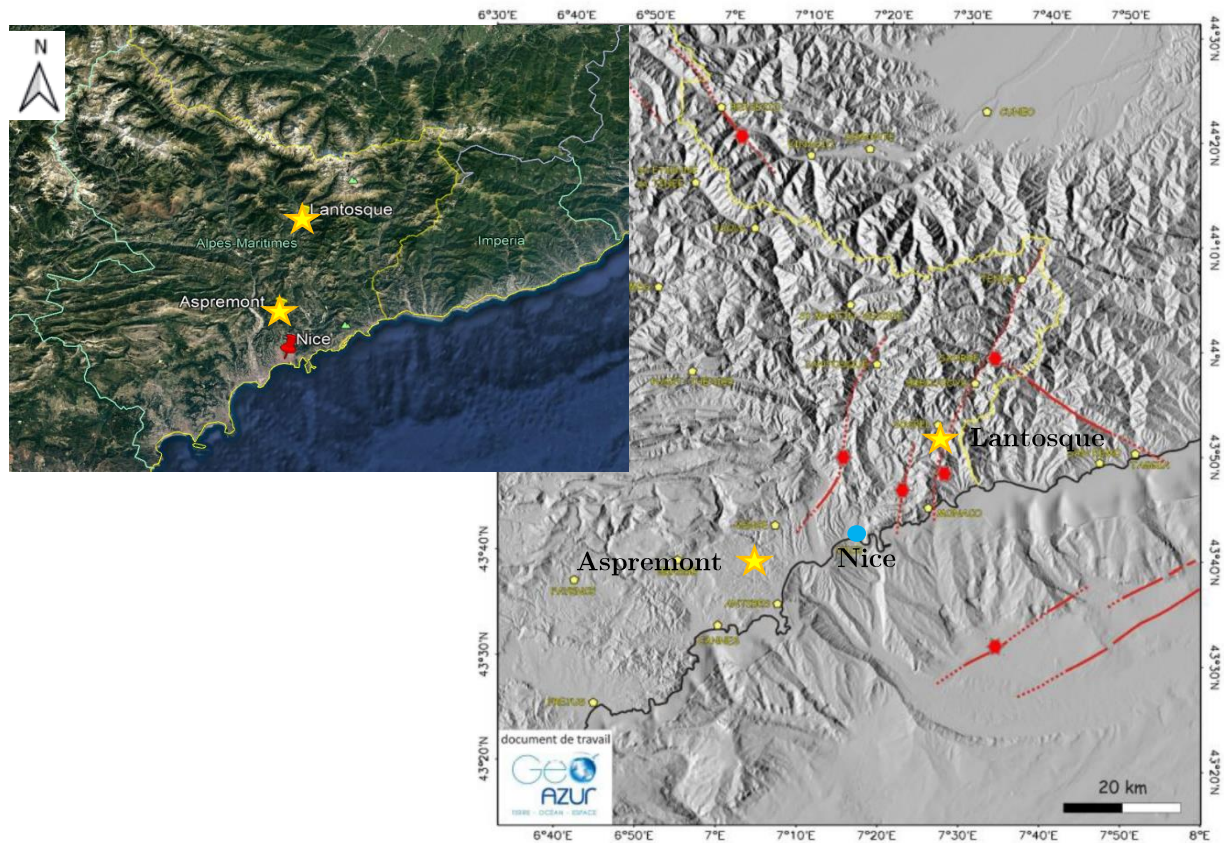


Figure 8.1. Localisation des deux épicentres des séismes de scénarios retenus pour le territoire niçois (étoile jaune) (d'après Géoazur-Cerema dans Monfort et al. (2018) et d'après Google Earth (2020)).

Pour ces deux scénarios, nous évaluons les intensités macrosismiques, l'aire exposée pour chaque intensité, la population et le PIB exposés, les victimes, les blessés ainsi que les pertes économiques directes. Cependant, les effets de site existants sur la métropole de Nice Côte d'Azur n'ont pas été pris en compte dans l'estimation des pertes sociales et économiques. Chaque étape du processus d'estimation des pertes post-sismiques comportent des incertitudes. Elles sont notamment dues aux données incertaines qui interviennent telles que la caractérisation du séisme, les variations dans les paramètres liés à l'exposition (aire et population exposées) et les incertitudes issues de la méthode utilisée (Monfort et al., 2018). Bien que les incertitudes sur les conséquences restent élevées avec un facteur de variabilité de l'ordre de ± 4 de la valeur moyenne pour les pertes humaines et de ± 6 pour les pertes économiques, les résultats permettent d'obtenir une grandeur des conséquences probables en adéquation avec les hypothèses réalisées.

L'intensité épicentrale maximale pour chaque scénario sismique est estimée à VIII. La Figure 8.2. représente l'aire exposée par intensité macrosismique et fournit les intensités macrosismiques par commune pour chaque scénario sismique d'Aspremont (Figure 8.2.a) et de Lantosque (Figure 8.2.b). La suite du processus permet de calculer la population exposée puis le PIB exposé pour chaque intensité macrosismique. Grâce à

ces deux paramètres d'exposition, il est alors possible de calculer les pertes moyennes sociales et économiques provoquées sur l'ensemble du territoire concerné par les scénarios, synthétisées dans le Table 8.2. Finalement, du fait de l'approche déterministe choisie, les résultats dépendent directement de la caractérisation du scénario sismique (profondeur, magnitude, localisation).

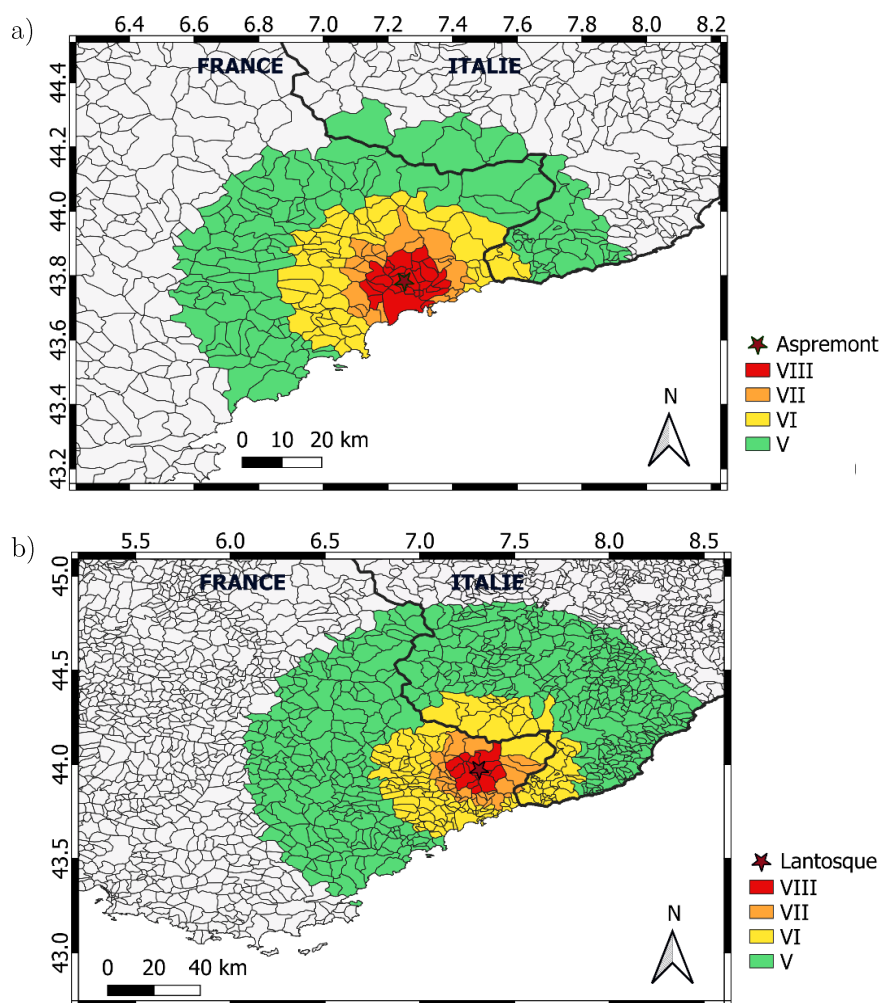


Figure 8.2. Scénarios sismiques dans les Alpes Maritimes. a) Scénario Aspremont et b) Scénario Lantosque. Les couleurs représentent les intensités macrosismiques par commune. L'étoile représente l'épicentre.

Table 8.2. Synthèse des résultats des pertes moyennes sociales et économiques pour les deux séismes de scénario.

Scénario	I0	F	J	L\$US (Milliards)	Part L\$US rapport au PIB _{exp} total
Aspremont	VIII	1690	4141	76.445	55%
Lantosque	VIII	119	390	1.209	1%

Les résultats obtenus peuvent être comparés à l'évaluation réalisée par le BRGM estimant les dégâts post-sismiques sur les personnes pour ces mêmes scénarios sismiques (Monfort et al., 2018). A la différence de notre étude, l'étude du BRGM a considéré les fluctuations saisonnières (été/hiver) de la population du territoire niçois en distinguant les taux d'occupations diurnes et nocturnes des logements (Monfort et al., 2018). Pour le département des Alpes-Maritimes, le scénario de Lantosque (séisme nocturne d'été) atteint 76 morts et 265 victimes, alors que le scénario d'Aspremont, considéré comme le pire scénario sismique sur le territoire niçois (séisme d'été et de nuit), compte plus de 2500 morts et de 5400 blessés. Les résultats de l'étude du BRGM et ceux issus de notre méthode ont les mêmes ordres de grandeur. Nos résultats concluent sur un bilan humain qui est du même ordre de grandeur (quelques centaines de victimes, quelques milliers de blessés) que les séismes récents qui ont frappé l'Italie depuis 2009 (L'Aquila, 2009 ; Amatrice, 2016) (Verrhiest-Leblanc et Magagnosc, 2018).

8.3.2.2 Analyse du préjudice

Les conséquences prédites nous permettent seulement à classer le préjudice et à déterminer le coefficient de conséquences μ_{cons} utilisé dans la fonction Préjudice de chaque scénario sismique.

Concernant le scénario d'Aspremont, la classe retenue correspond à un dommage classant le préjudice comme une catastrophe majeure selon l'échelle de gravité des dommages (Table 7.1. du chapitre 7) (Mission d'inspection spécialisée de l'environnement (1999) dans MTES, 2020a). Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé vaut 5 d'après le Table 7.1. du chapitre 7.

Concernant le scénario de Lantosque, la classe retenue correspond à un dommage classant le préjudice comme une catastrophe selon l'échelle de gravité des dommages (Table 7.1.). Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé vaut 4.

8.3.3 Engagement de la responsabilité administrative

8.3.3.1 Analyse des moyens de prévention et de protection

Les acteurs de la ville de Nice et de la prévention des risques sont très sensibles et conscients des enjeux particuliers du territoire niçois vis-à-vis de l'aléa sismique. La résilience limitée de ce territoire, compte tenu de la sensibilité de nombreuses

infrastructures et de nombreux bâtiments indispensables à la gestion de la crise est mise en lumière (CGEDD, 2018). Dans ce contexte, de nombreuses missions sont conduites sur le territoire niçois afin de faire émerger les actions de réduction de vulnérabilité existantes et requises. Ces actions encouragent la mobilisation des acteurs locaux par un rappel de leurs responsabilités (Thierry et al., 1998 ; Mouroux et al., 2004 ; GEMGEP, 2005 ; CGEDD, 2018).

La ville de Nice a un cadre d'action pour la prévention des risques sismiques très actif comme le montrent la volonté de mettre en place le CAPRIS approuvé en 2015 et les nombreuses collaborations de projet de recherche entre Nice et les scientifiques relatives à l'amélioration de la connaissance de l'aléa et de la vulnérabilité (projets GEMITIS en 1996 (Lutoff et al., 1998), RISK-UE en 2004, R&D SiSMet en 2019, RISVAL en 2020). Ces connaissances contribuent à l'évolution des dispositions à moyens termes de réduction de la vulnérabilité de ce territoire (Cinotti et al., 2019). Le plan de prévention des risques sismiques (PPRS) approuvé le 28 janvier 2019 sur Nice est un élément montrant l'implication de cette ville dans sa volonté de diminuer la vulnérabilité sur son territoire. Il permet de modifier l'aléa sismique à considérer en « adaptant la réglementation aux conditions topographiques et géologiques locales » (Courboulex et al., 2019). La prise en compte d'un microzonage sismique permet de diminuer les dommages concernant les bâtiments récents qui respectent les normes parasismiques. Toutefois, 70% à 80% du parc immobilier niçois (bâtiments d'habitation courante construits avant 1997) ne respectent pas les nouvelles normes de construction de 2010 (Cinotti et al., 2019 ; Courboulex et al., 2019). Le PPRS de Nice est le premier appliqué au risque sismique pour une métropole de cette grandeur sur le territoire français (métropole).

Le travail avec la métropole Nice Côte d'Azur dans ce projet de recherche a mis en évidence leur volonté et leur avancée de la déclinaison du plan départemental séisme établi depuis 2017 au niveau métropolitain. Les actions en cours portent sur la préparation à la crise et notamment sur des actions de prévention en amont. En effet, la ville de Nice et sa métropole ont mis en place une politique de gestion du risque sismique suivant trois axes (Cinotti et al., 2019) :

- Le respect des règles parasismiques ;
- L'information des citoyens et l'assimilation du risque sismique par les acteurs locaux et la population ;
- La préparation à la gestion d'une crise sismique et post-sismique.

Le modèle juridique semble tout à fait adapté pour la ville de Nice qui dans l'application de son Plan Séisme intégré dans sa politique sur la gestion de la prévention du risque sismique, s'inscrit dans une démarche qualité (Guézo et Serretiello, 2008 ; DIREN PACA, 2008).

Les informations fournies par les textes réglementaires, les audits réalisées sur la mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels et technologiques dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Bauche et al., 2014 ; Domallain et al., 2017) ou sur l'aléa sismique à Nice (Cinotti et al., 2019) et l'entretien mené auprès du service Risques Majeurs de la Métropole Nice Côte d'Azur (septembre 2020) ont été utilisés pour modéliser les conséquences juridiques. Le statut de la mise en œuvre des moyens de prévention et de protection font références aux Tables 7.8. et 7.9. du chapitre 7. La matrice a été renseignée suite à l'autoévaluation réalisée par le service Risques Majeurs de la Métropole Nice Côte d'Azur. Les résultats classent la qualité des moyens de prévention et de protection mis en place comme Optimisée (Table 8.3.). L'autoévaluation détaillée de la matrice des Moyens de prévention et de protection par les services Risques Majeurs est fournie dans l'annexe 4.

Table 8.3. Résultat de l'analyse de la matrice des Moyens de prévention et de protection issue du modèle juridique développée pour la Métropole de Nice Côte d'Azur.

	Culture du risque sismique		Mesure de prévention et de protection	
	Connaissance	Conscience	Mesures de police	Mesures d'urbanisme
Total du cycle	22	26	28	28
Total du cycle	104 -> une mise en place des Moyens de 84%			
Classe des moyens	Optimisée			
α_{moyens}	1			

8.3.3.2 Probabilité d'engagement de la responsabilité administrative

La détermination du préjudice et celle du lien de causalité défini par l'évaluation des matrices des Moyens de prévention et de protection permettent de modéliser la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative de la personne publique pour chaque scénario sismique sur la ville de Nice. Selon le modèle juridique, l'engagement de la responsabilité se calcule selon les Eq. 8.1. et Eq. 8.2. suivantes :

$$ER_{\text{Aspremont}} = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 1 * 5 = 5 \quad \text{pour le scénario d'Aspremont} \quad (8.1.)$$

$$ER_{\text{Lantosque}} = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 1 * 4 = 4 \quad \text{pour le scénario de Lantosque} \quad (8.2.)$$

Représentant une catastrophe majeure, le risque d'engagement de la responsabilité pour le scénario d'Aspremont est fort pour des Moyens de prévention et de protection optimisés. Du fait des conséquences du scénario de Lantosque représentant un évènement catastrophe sur l'échelle de gravité des dommages, le risque d'engagement de la responsabilité n'est que modéré. Ainsi plus les conséquences sont graves plus la responsabilité est fortement susceptible d'être engagée. Il est important de noter que le risque d'engagement de la responsabilité peut être élevé en cas de catastrophe majeure même si 75% et plus des moyens de prévention et de protection sont optimisés (cas du scénario d'Aspremont).

Table 8.4. Application au cas de Nice : Représentation du risque d'engagement de la responsabilité en fonction de la gravité des conséquences et des Moyens de prévention et de protection mis en place sous forme de Traffic-light selon les scénarios sismiques choisis.

Classe du Préjudice Statut des Moyens	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
Moyens < 25%	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
25% ≤ Moyens < 50%	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
50% ≤ Moyens < 75%	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
75% ≤ Moyens	Green	Green	Green	Yellow	(2) Lantosque	(1) Aspremont

D'après les résultats du modèle juridique, la Métropole Nice Côte d'Azur a un comportement pro-actif vis-à-vis de la gestion du risque sismique sur son territoire (Moyens optimisés). La Figure 8.3. représente les courbes de comportement des collectivités illustré par le principe d'ALARP. Le comportement pro-actif est défini par la courbe verte. Si l'on reporte le coefficient des conséquences μ_{cons} sur la Figure 8.3., il est possible d'obtenir la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative de la commune. On retient ainsi une probabilité d'engagement de la responsabilité administrative de 25% de la commune de Nice si le scénario d'Aspremont a lieu et une probabilité d'engagement de la responsabilité administrative de 20% si le scénario de Lantosque est considéré. Ces résultats sont en adéquation avec les actions visibles opérationnalisées par la ville de Nice et les rapports d'Etat.

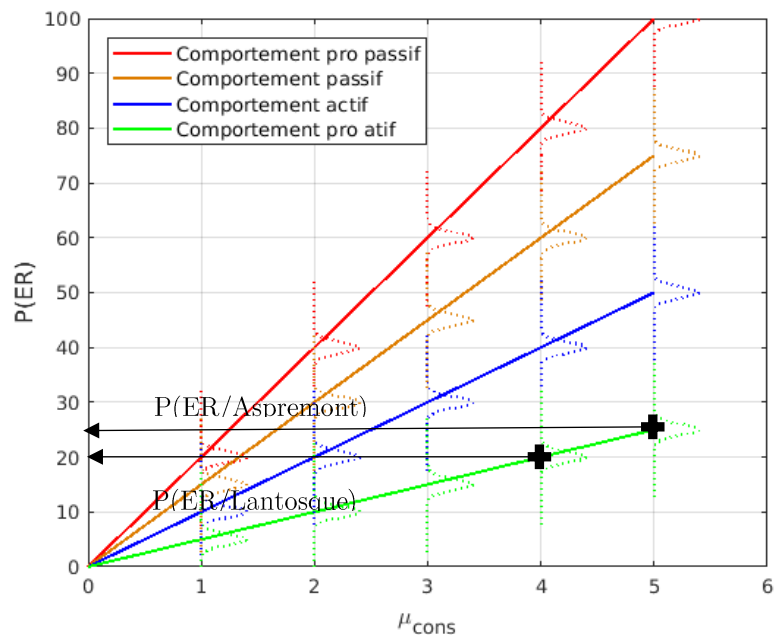


Figure 8.3. Courbe représentant la probabilité d'engagement de la responsabilité de la Métropole Nice Côte d'Azur vis-à-vis du scénario d'Aspremont $P(ER/Aspremont)$ adoptant un comportement pro actif pour un préjudice de classe catastrophe majeure de μ_{cons} égal à 5 et vis-à-vis du scénario de Lantosque $P(ER/Lantosque)$ adoptant un comportement pro-actif pour un préjudice de classe catastrophe de μ_{cons} égal à 4.

8.4 Le cas d'un territoire actif : Ville de Grenoble et Grenoble Alpes Métropole

8.4.1 Contexte

Grenoble est la seizième plus grande ville française en termes de population et d'activités économiques. Classée en zone de sismicité moyenne, Grenoble est localisée dans la région la plus active de France, bordant la chaîne montagneuse des Alpes. Parmi la sismicité du bassin grenoblois, la faille bordière de Belledonne, très active et à l'origine de nombreux séismes, est bien référencée par le réseau régional Sismalp depuis les années 1990 (Thouvenot et al., 2003) (Figure 8.4).

Historiquement, cette région a subi plusieurs tremblements de terre pouvant causer des dégâts importants (Levret et al., 1994 ; 1996 ; Thouvenot et al., 2003) (Figure 8.4.). Toutefois, peu de séismes ont produit des intensités macrosismiques maximales supérieures à V, intensité pour laquelle des dégâts peuvent être observés. Le séisme du Grésivaudan de 1851 et le séisme de Corrençon-en-Vercors en 1962 de magnitude 5.3 en

font partie enregistrant respectivement une intensité épiscopentrale de VI et de VIII (Levret et al., 1996 ; Dunand et Guéguen, 2012) et pour lesquels des dégâts ont été constatés. Plus récemment, le bassin grenoblois a aussi été touché par le séisme de Laffrey en 1999 de magnitude estimée à 4.1 (RÉNASS, 2020) pour lequel des dégâts matériels ont été recensés.

8.4.2 Pertes sociales et économiques

8.4.2.1 Estimation des pertes socio-économiques

Bien que la faille bordière de Belledonne soit bien connue, peu de simulation de scénario sismique plausible ont été réalisées sur le bassin grenoblois (Causse et al., 2009 ; Chaljub et al., 2010). De ce fait, l'épicentre du premier scénario est localisé à Laffrey situé sur la faille bordière de Belledonne (Thouvenot et al., 2003 ; Causse et al., 2009) (Figure 8.4.). Ce premier scénario a été sélectionné puisqu'un séisme avait déjà frappé Laffrey en 1999 de magnitude 3.5. Pourtant peu connues, d'autres failles proches de Grenoble peuvent jouer un rôle dans la région Grenobloise, telles que celles situées dans les massifs du Vercors et de Chartreuse. Elles peuvent prétendre à être le lieu de séisme plus destructeur comme le rappelle le séisme de Corrençon-en-Vercors de magnitude 5.3 en 1962 (Thouvenot et al., 2003). Ce scénario définit ainsi notre second scénario sismique (Figure 8.4.). Enfin, le troisième scénario est situé dans la vallée du Grésivaudan à Saint-Mury-Monteymond correspondant à celui utilisé pour l'exercice de Richter38 réalisé en avril 2020 (Figure 8.4.). Il est important de noter l'existence d'incertitude importante sur le fonctionnement des failles et les caractéristiques tectoniques associées aux scénarios, en particulier sur la profondeur de l'épicentre. Bien qu'ils aient des répercussions non négligeables dans l'estimation des intensités macrosismiques maximales, nous faisons l'hypothèse de ne pas considérer les effets de sites dans cette étude. Les deux scénarios ont des caractéristiques similaires en termes de magnitude (5.5 pour les scénarios 1 et 2 et 5.7 pour le scénario 3) et de profondeur (5km pour le scénario 1 et 7km pour le scénario 2 et 3) (Thouvenot et al., 2003 ; OSUG, 2020).

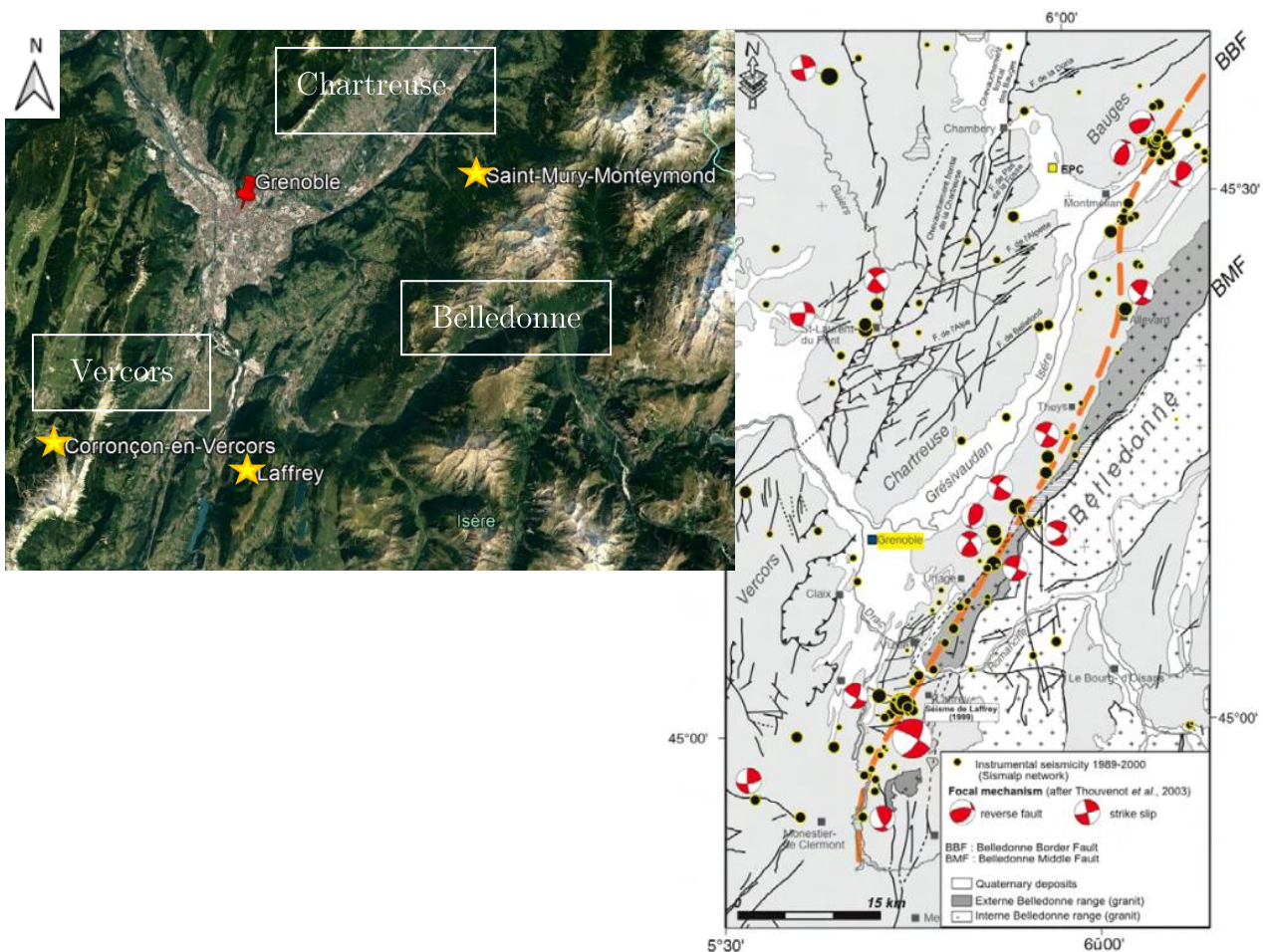
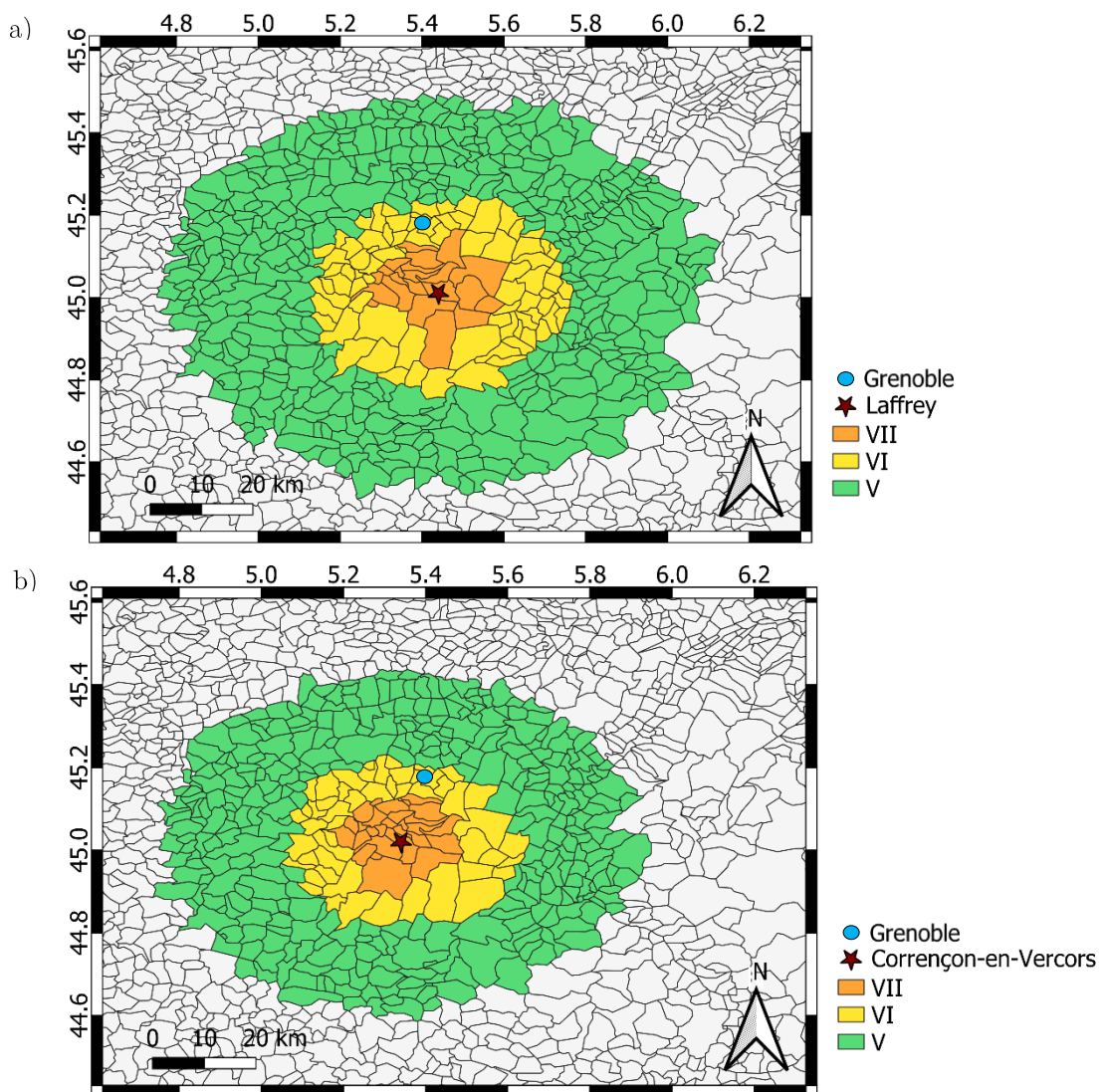


Figure 8.4. Carte de Grenoble et des principaux épicentres localisés par le réseau sismique régional SISMALP (d'après Dunand et Guéguen (2012) et Thouvenot et al., (2003)). Localisation des trois épicentres des séismes (étoile jaune de scénarios retenue pour le bassin grenoblois en forme de Y entouré de la chaîne de Belledonne et des massifs du Vercors et de la Chartreuse (Google Earth, 2020).

Nous appliquons le processus développé au chapitre 4 pour estimer les pertes aux trois scénarios sismiques du bassin grenoblois. L'intensité macrosismique maximale pour chaque scénario sismique est estimée à VII. La Figure 8.5. représente l'aire exposée par intensité macrosismique et fournit les intensités macrosismiques par commune pour les trois scénarios sismiques Laffrey (Figure 8.5.a), Corrençon-en-Vercors (Figure 8.5.b) et Saint-Mury-Monteymond (Figure 8.5.c). La suite du processus permet de calculer la population exposée puis le PIB exposé pour chaque intensité macrosismique. Grâce à ces deux paramètres d'exposition, il est alors possible de calculer les pertes sociales et économiques provoquées sur l'ensemble du territoire concerné par les scénarios. Les résultats des pertes moyennes sociales et économiques sont synthétisés dans le Table 8.5.

Table 8.5. Synthèse des résultats des pertes moyennes sociales et économiques pour les deux scénarios sismiques du bassin grenoblois

Scénario	I0	F	J	L\$US (Milliards)	Part L\$US rapport au PIB _{exp} total
Laffrey	VII	240	825	15.971	26%
Corrençon-en-Vercors	VII	154	789	5.998	8%
Saint-Mury-Monteymond	VII	156	837	5.323	6%



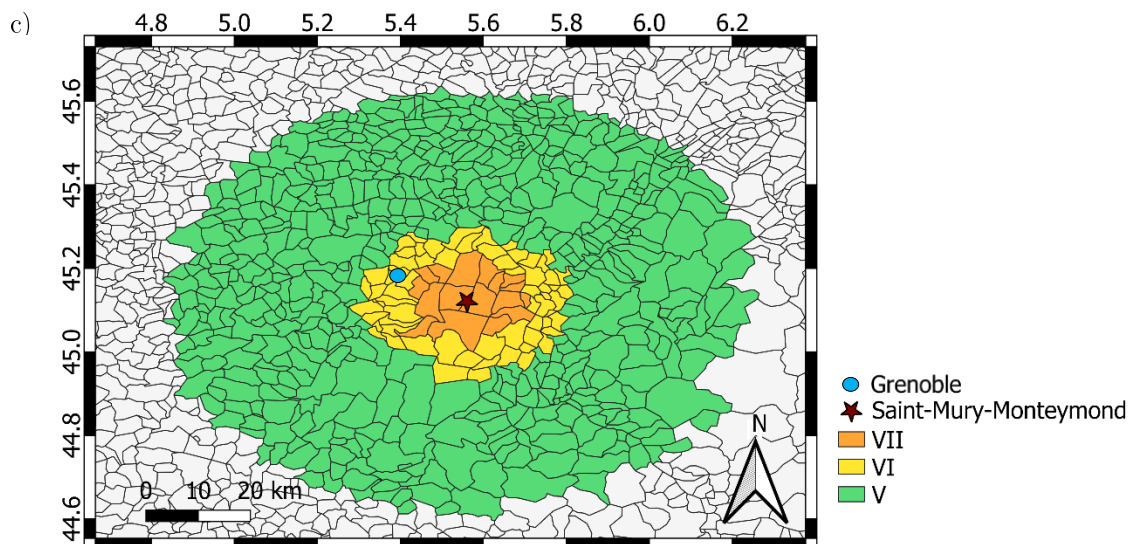


Figure 8.5. Scénarios sismiques dans le bassin Grenoblois. a) Scénario de Laffrey, b) Scénario de Corrençon-en-Vercors et c) Scénario de Saint-Mury-Monteymond. Les couleurs représentent les intensités macrosismiques par commune. L'étoile représente l'épicentre.

8.4.2.2 Analyse du préjudice

Concernant le scénario de Laffrey, le préjudice social subi est de 240 morts et le préjudice économique est estimé à 15.9 milliards de dollars US. Concernant le scénario de Corrençon-en-Vercors, le préjudice social subi est de 154 morts et le préjudice économique est estimé à 5.9 milliards de dollars US. Concernant le scénario de Saint-Mury-Monteymond, le préjudice social subi est de 156 morts et le préjudice économique est estimé à 5.3 milliards de dollars US.

Pour ces trois scénarios, le dommage classe le préjudice comme une catastrophe selon l'échelle de gravité des dommages (Table 7.1. du chapitre 7). Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé vaut 4.

8.4.3 Engagement de la responsabilité administrative

8.4.3.1 Analyse des moyens de prévention et de protection

La ville de Grenoble est active dans sa politique de prévention du risque sismique comme le montrent les nombreuses collaborations de projet de recherche entre Grenoble et les scientifiques relatives à l'amélioration de la connaissance de ce risque (projets VULNERAP en 2005 ; ALCOTRA-RISE en 2013 ; SiSMet en 2019).

Les informations élémentaires fournies par les textes réglementaires, les audits réalisées en 2017 concernant la mise en œuvre de la politique de prévention des risques naturels et technologiques en région Rhône-Alpes (Aujollet et al., 2017) et l'entretien mené auprès du service Sécurité civile de la ville de Grenoble (octobre 2020) et auprès du service Risques (DGA Cohérence Territoriale) de Grenoble Alpes Métropole ont été utilisés pour évaluer et compléter le statut de la mise en œuvre des moyens de prévention et de protection face au risque. La matrice a été renseignée suite à l'autoévaluation réalisée par le service Sécurité civile de la ville de Grenoble (Table 8.6.) et par le service Risque de Grenoble Alpes Métropole (Table 8.7.). Les résultats classent la qualité des moyens de prévention et de protection mis en place comme Maîtrisée pour la ville de Grenoble et la Métropole (Table 8.6. & Table 8.7.). L'autoévaluation détaillée de la matrice des Moyens de prévention et de protection par le service Sécurité civile de la ville de Grenoble et par le service Risque de la Métropole est fournie dans l'annexe 4.

Table 8.6. Résultat de l'analyse de la matrice des Moyens de prévention et de protection issue du modèle juridique développée pour la ville de Grenoble.

	Culture du risque sismique		Mesure de prévention et de protection	
	Connaissance	Conscience	Mesures de police	Mesures d'urbanisme
Total du cycle	23	18	23	18
Total du cycle – Côte	82 -> une mise en place des Moyens de 66%			
Classe des moyens	Maîtrisée			
α_{moyens}	2			

Table 8.7. Résultat de l'analyse de la matrice des Moyens de prévention et de protection issue du modèle juridique développée pour Grenoble Alpes Métropole.

	Culture du risque sismique		Mesure de prévention et de protection	
	Connaissance	Conscience	Mesures de police	Mesures d'urbanisme
Total du cycle	18	23	14	21
Total du cycle – Côte	83 -> une mise en place des Moyens de 72%			
Classe des moyens	Maîtrisée			
α_{moyens}	2			

8.4.3.2 Probabilité d'engagement de la responsabilité administrative

Selon le modèle juridique, l'engagement de la responsabilité pour chaque scénario se calcule selon les Eq. 8.3., Eq. 8.4. et Eq. 8.5. suivantes :

$$ER_{\text{Laffrey}} = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 2 * 4 = 8 \quad \text{pour le scénario de Laffrey} \quad (8.3.)$$

$$ER_{\text{Corrençon}} = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 2 * 4 = 8 \quad \text{pour le scénario de Corrençon – en – Vercors} \quad (8.4.)$$

$$ER_{\text{StMury}} = \alpha_{\text{moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 2 * 4 = 8 \quad \text{pour le scénario de Saint – Mury – Monteymond} \quad (8.5.)$$

Du fait des conséquences pour chaque scénario appliqué sur le bassin grenoblois (ville de Grenoble et Grenoble Alpes Métropole) et représentant un évènement catastrophe sur l'échelle de gravité des dommages, le risque d'engagement de la responsabilité administrative est fort.

Table 8.8. Application au cas de Grenoble : Représentation du risque d’engagement de la responsabilité en fonction de la gravité des conséquences et des moyens de prévention et de protection mis en place sous forme de Traffic-light selon les scénarios sismiques choisis.

Classe du Préjudice \ Statut des Moyens	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
Moyens < 25%	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
25% ≤ Moyens < 50%	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
50% ≤ Moyens < 75%	Green	Green	Yellow	Yellow	(1) Laffrey (2) Corrençon-en-Vercors (3) Saint-Mury-Monteymond	Red
75% ≤ Moyens	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red

D’après les résultats du modèle juridique, on retient ainsi une probabilité d’engagement de la responsabilité administrative de 40% pour la ville de Grenoble et pour la Métropole de Grenoble Alpes si un des trois scénarios se produit.

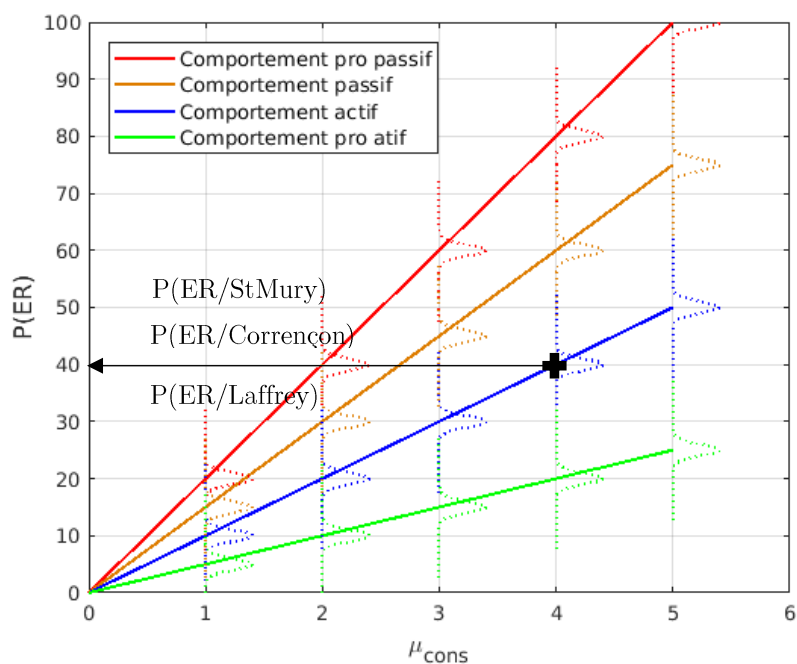


Figure 8.6. Courbe représentant la probabilité d’engagement de la responsabilité de la ville de Grenoble et de la Métropole de Grenoble Alpes vis-à-vis du scénario de Laffrey $P(ER/Laffrey)$, de Corrençon-en-Vercors $P(ER/Corrençon)$ et de Saint-Mury-Monteymond $P(ER/StMury)$ adoptant un comportement actif pour un préjudice de classe catastrophe de μ_{cons} égal à 4.

Bien que la Métropole de Grenoble Alpes n'ait pas de PPRS prescrit sur son territoire, elle reste néanmoins très volontaire dans la mise en place de moyens de protection et de prévention face au risque sismique puisqu'elle adopte une prévention multirisque sur son territoire. On constate aussi que l'existence de PPRS sur un territoire (par exemple celui de Nice) favorise fortement la mise en place d'action protectrices et préventives puisque le risque est caractérisé juridiquement.

8.5 Résumé et conclusions

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une estimation des pertes sociales, économiques et des conséquences juridiques pour deux villes françaises en appliquant le processus de prédiction des pertes développé dans ce travail de recherche. Nous avons présenté une analyse complète des dommages attendus sur l'ensemble du territoire concerné par les différents scénarios sismiques. Plusieurs scénarios déterministes appliqués aux villes de Nice et de Grenoble sont proposés avec des caractéristiques sismiques (magnitude, profondeur) similaires et une localisation de l'épicentre différente. Bien que le calcul des préjudices aurait pu se limiter aux contours administratifs des métropoles de Nice Côte d'Azur et de Grenoble Alpes, l'étude permet d'établir un ordre de grandeur des conséquences, qui peut être utile à la définition de mesures de prévention et de protection.

Nice est la métropole exposant 1.5 million de personnes à un aléa sismique moyen. Cette étude conclut sur le comportement pro-actif adopté par la ville de Nice vis-à-vis du risque sismique. Elle met aussi en lumière le scénario d'Aspremont comme un scénario catastrophique majeur dénombant plus de 1600 morts et près de 4100 blessés. Pour un comportement pro-actif, ce scénario estime une probabilité d'engagement de la responsabilité administrative élevée de 25%. Le second scénario, Lantosque, du fait des conséquences moindres, évalue le risque d'engagement de la responsabilité administrative à 20%.

Le niveau d'aléa sismique moyen est aussi présent sur la métropole de Grenoble et sa métropole, ville et métropole sur lesquelles les enjeux économiques, sociaux et touristiques et l'exposition sont existants et élevés. L'étude montre qu'il faudrait s'attendre à plus de 150 morts et 750 blessés si un des trois scénarios sismiques se réalisait. Le risque d'engagement de la responsabilité administrative de la ville active Grenoble vis-à-vis du risque sismique est estimé à 40%.

Les villes de Nice et de Grenoble sont deux cas d'application, exemplaires du fait de leur comportement pro-actif et actif. Il est important de rappeler que la majorité des villes n'ont pas les mêmes priorités, adoptant un comportement allant de passif à actif, conséquences d'une perception faible du risque sismique. L'adoption d'un plan de

prévention des risques sismiques favorise fortement la mise en place d'actions et de mesures préventives et protectrices. Les communes qui n'en sont pas dotées peuvent néanmoins être volontaires afin d'être active face au risque sismique.

L'étude de ces cas, et les retours d'expérience avec les services en charge des risques de ces deux métropoles, montre à quel point la méthodologie proposée pour estimer le risque d'engagement de la responsabilité administrative est facilement applicable du fait qu'elle s'intègre dans les démarches qualité déjà mises en place dans les collectivités territoriales. La maturité de la mise en place des moyens de prévention et de protection participe à définir le comportement d'une collectivité territoriale concernant le risque sismique et contraint la sévérité du risque d'engagement de la responsabilité administrative. Plusieurs perspectives sont possibles pour affiner cette évaluation tout en conservant notre démarche. L'application de poids selon l'importance du critère participerait à améliorer l'estimation de la probabilité d'engagement de la responsabilité. En effet, il existe des mesures pour réduire les conséquences faciles à mettre en place avec un faible cout financier.

Toutefois, les incertitudes finales concernant les pertes sociales et économiques sont très grandes, et les résultats doivent être utilisés en connaissance de ces incertitudes. De même concernant les résultats portant sur le risque d'engagement de la responsabilité administrative, nous rappelons qu'ils ne sont qu'une estimation afin d'aider les décideurs publics à prendre des décisions de réduction de la vulnérabilité sismique. Seul le juge administratif peut rendre une décision finale et exécutoire concernant l'engagement de la responsabilité administrative des personnes publiques, sachant que chaque affaire juridique est particulière.

9 Conclusions et perspectives

9.1 Conclusions

L'objectif et l'originalité de ce travail de recherche était de répondre à l'attente des élus en réalisant une analyse multicritère des conséquences sismiques à l'échelle urbaine des régions à risque sismique modéré à faible.

Pour répondre à cette problématique et aux questions posées au chapitre 1, la sismologie et le droit administratif sont articulés pour qualifier et quantifier d'une part les conséquences sociales et économiques et d'autre part, les conséquences juridiques.

Une première approche a été de construire un questionnaire autour de trois thèmes principaux portant sur (1) la connaissance du risque sismique et de la réglementation parasismique par les différents publics interrogés (juristes, élus, assureurs, techniciens et membres de la sécurité civile), (2) les facteurs décisionnels nécessaires pour prendre des décisions intégrant le risque sismique, et (3) la connaissance de leur responsabilité vis-à-vis du risque sismique. L'analyse des 65 entretiens a éclairci les conditions pour lesquelles les personnes publiques se mobilisent pour le déploiement d'une démarche de prévention.

Suite à cette enquête, la représentation des conséquences d'un séisme pour l'optimisation de l'anticipation et de la prévention apparaît indispensable avant toute prise de décision. Plusieurs variables décisionnelles à modéliser ont été identifiées au travers de l'enquête : le nombre de bâtiments endommagés, le nombre de victimes, sans-abris et blessés, le volume de gravas et le coût associé, l'interruption de l'activité et le coût associé à la récupération d'une situation normale. Cependant, dû à l'absence d'information sur certaines variables dans les bases de données, seules les variables sociales (pertes humaines et nombre de blessés), économiques (pertes économiques directes) et juridiques (quantification de la probabilité de l'engagement de la responsabilité) ont été considérées dans la suite de ce travail de recherche. A la manière des travaux de recherche en sismologie, une base de données d'événements sismiques et des pertes associées (plus de 400 événements) a été constituée. Pour cela, nous avons dans un premier temps testé des procédures d'ajustement des variables liées à l'exposition (population et économie) afin de construire une base homogène à la référence de l'année 2016, et réaliser à l'échelle globale les projections des conséquences sismiques pour les années à venir, selon une approche probabiliste. Dans un deuxième temps, nous avons

défini des modèles d'excédance des pertes à l'échelle globale, en s'appuyant sur les modèles de type Poissonien en vigueur en sismologie. Le travail sur la base de données s'est poursuivi afin de développer et tester un modèle de prédiction des pertes associées à un événement sismique. Ce modèle propose pour un séisme de magnitude donnée et en un lieu donné de prédire les pertes économiques et humaines. L'originalité de notre approche est d'améliorer ces prédictions en évaluant au mieux la population et le PIB exposés aux intensités les plus fortes générées par un séisme. Enfin le processus développé dans cette thèse (à partir de la donnée magnitude existante, nous obtenons les pertes sismiques) a été appliqué à la base mondiale ISC-GEM des événements sismiques depuis 1967. Cette application crée une base de pertes synthétiques sismiques et participe à évaluer globalement les probabilités annuelles d'occurrence des pertes.

Une seconde étude innovante dans le domaine a été menée en parallèle concernant la troisième variable décisionnelle mentionnée par les décideurs publics. En effet, ces acteurs souhaitent accroître leur connaissance sur l'éventuel engagement de leur responsabilité vis-à-vis des risques naturels. La jurisprudence nationale et internationale a tendance à engager plus facilement la responsabilité des décideurs publics. Toutefois, cette étude montre que la responsabilité pénale mène que très rarement à la condamnation en matière de risques naturels. C'est pourquoi, nous nous sommes concentrés dans cette thèse sur la responsabilité des personnes publiques. La responsabilité administrative désigne l'obligation qui appartient à l'administration de réparer les préjudices causés par son action ou son inaction (Van Lang, 2018). Les conditions d'engagement de la responsabilité des personnes publiques se comptent au nombre de trois ; le fait générateur (le séisme ou l'aléa naturel), le préjudice (conséquences humaines ou économiques) et le lien de causalité. Les analyses des jurisprudences, des textes juridiques et des cadres réglementaires mettent en lumière les éléments d'appréciation du juge administratif sur lesquels il peut s'appuyer pour engager une éventuelle responsabilité de l'administration dans le domaine des risques naturels. Avec le souci de proposer un regard global sur la question de la responsabilité administrative, cette analyse montre qu'il a été possible de construire un modèle empirique juridique capable de quantifier la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative. Ce challenge a répondu à l'intérêt porté par les collectivités territoriales. Le modèle de quantification des conséquences juridiques se base sur la méthode maîtrise des risques (au sens des conséquences pour les dirigeants, ici les décideurs publics). L'angle de la responsabilité semble être une approche auxquels les décideurs publics souhaitent prendre part. Ce modèle juridique s'appuie sur une démarche interactive qui s'intègre dans les démarches d'amélioration continue utilisées par les collectivités. Dans ce modèle, le lien de causalité est ici identifié à travers l'investissement consenti pour les moyens de protection et de prévention. Par conséquent, un fort préjudice et une application faible des moyens de prévention et de protection pourraient conduire à engager la responsabilité de l'administration. Toutefois, du fait d'une absence d'automatisme des sanctions et de l'unicité de chaque cas d'affaire, le modèle de quantification des conséquences juridiques est tout de même applicable auprès

des collectivités territoriales étant alors considéré comme un outil d'aide à la prise des décisions des personnes publiques dans la mise en place de leur politique de gestion des risques naturels.

Finalement, grâce au processus complet d'estimation des conséquences globales (sociales, économiques et juridiques) développé dans ce travail, c'est aux décideurs publics et aux autorités locales de prescrire les mesures nécessaires et spécifiques afin de réduire la vulnérabilité de leur territoire face à l'aléa sismique, tout en tenant compte de la viabilité des choix stratégiques, politiques et financiers.

9.2 Perspectives

Ce travail de recherche de trois ans sur la modélisation des conséquences sismiques offre plusieurs perspectives à développer et à mener dans des travaux futurs.

Tout au long de ces trois années, nous avons pris conscience de la nécessité de certaines données supplémentaires pour améliorer les modèles de pertes. Ces éléments pourraient être intégrés dans de futurs travaux de recherche portant sur ce sujet :

- (1) L'utilisation des variables d'exposition améliore les résultats des pertes sociales et économiques. Toutefois, les bases de données fournissent la population exposée globale et le nombre de morts global. Il serait alors intéressant d'obtenir ces variables par intensité macrosismique ressentie afin que le modèle des pertes sociales puisse procurer le nombre de morts par intensité macrosismique. Cette information serait utile aux décisionnaires publics dans leur gestion d'une catastrophe.

- (2) Le modèle de prédiction des pertes économiques utilise une approche macroscopique en tenant compte du PIB exposé national, ce qui a contribué à une première approximation des pertes pour sensibiliser les élus. Or, la mise en place d'une approche microscopique améliorerait ce modèle de prédiction en adoptant dans un premier temps, le PIB exposé régional, puis dans un second temps en considérant l'impact économique du séisme selon les différents secteurs du territoire concerné (par exemple secteur industriel, secteur vin ou secteur service). Les secteurs économiques sont-ils affectables de la même manière ? Pour autant, la difficulté de cette amélioration réside dans l'absence de données sismiques fournissant l'impact économique par secteur affecté. Dans ce contexte, il serait possible de considérer les pertes économiques indirectes dans le modèle puisque les

coûts indirects (interruption d'activité, réduction de la demande, perte touristique, impact économique du nombre de décès) définissaient des variables décisionnelles identifiées par les acteurs du risque sismique (décideurs publics).

- (3) Le modèle de prédiction des pertes peut également être amélioré en tenant compte des effets de site. Cet ajout optimiserait l'ajustement des intensités macroscopiques en fonction de la topographie du site.
- (4) De nombreux modèles existants ont montré l'intérêt de prendre en considération le dommage sur les bâtiments dans les équations. Par manque d'information, nous ne l'avons pas pris en compte. Cependant, l'ajout de la variable Dommage participerait à mieux évaluer les pertes sociales et économique.

Les travaux relatifs à la modélisation de la responsabilité administrative des personnes publiques ouvrent un questionnement sur l'aspect économique. En effet, le lien de causalité est identifié au travers de l'investissement réalisé sur les moyens de prévention et de protection mis en place. Or cet investissement est généralement un investissement économique qui est proportionnel ou pris dans la mesure des ressources et des moyens financiers et humains de la collectivité. Toutefois, dans certains cas, même si mettre en place une mesure de prévention et de protection additionnelle améliorerait la réduction du risque, l'effort financier nécessaire pourrait être trop important (BWG et al., 2005). Comme les normes suisses SIA relatives à la vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants (BWG et al., 2005), il serait donc possible d'adapter cette méthode à la vérification de l'investissement des moyens de prévention et de prédiction mis en place afin de réduire le risque d'engagement de la responsabilité administrative, selon un facteur de conformité α_{eff} . Ce facteur de conformité décrirait dans quelle mesure une politique de gestion du risque sismique remplit les exigences selon la réglementation en vigueur et les moyens disponibles. Le facteur de conformité pourrait être calculé grâce à la démarche qualité développée dans ces travaux de recherches dans laquelle les indicateurs des moyens de prévention et de protection sont évalués comme maîtrisés, en conformité avec la réglementation et/ou contrôlés avec traçabilité (statut des indicateurs à 3). De ce fait, il serait possible de comparer la valeur des moyens de prévention et de protection obtenue dans la grille d'autoévaluation (Table 7.8. & Table 7.9) α_{moyen} , au facteur de conformité α_{eff} afin de juger si des moyens additionnels pour réduire le risque d'engagement de la responsabilité administrative sont fortement justifiés. Par exemple, afin de minimiser le risque d'engagement de la responsabilité administrative, la condition $\alpha_{\text{moyen}} \leq \alpha_{\text{eff}}$ devrait être remplie. Dans le cas contraire des mesures additionnelles s'imposeraient. En revanche pour $\alpha_{\text{moyen}} > \alpha_{\text{eff}}$, la proportionnalité des mesures envisagées devrait être justifiée. L'appréciation des critères de

proportionnalité et d'exigibilité se baserait sur « les coûts de sauvetage » d'une mesure (€/vie humaine sauvée), c'est-à-dire sur le gain en sécurité sociale et économique. Cet impact économique pourrait être plus développé et étudié dans des recherches ultérieures.

Finalement, le modèle de quantification des conséquences juridiques appliqué au séisme est transférable à d'autres risques naturels, notamment au risque inondation. En le transposant à d'autres risques naturels, et en adoptant les indicateurs spécifiques à chaque risque naturel, il est donc possible de construire un modèle de prédiction des conséquences juridiques appliqué aux multirisques naturels et pouvant s'inscrire dans une gestion intégrée des risques naturels pour les administrations. Pour y répondre, pourquoi ne pas utiliser la justice prédictive ? Le modèle de quantification de la probabilité d'engagement de la responsabilité administrative développé dans cette thèse, s'inscrit dans la démarche employée pour la justice « prédictive » utilisant la modélisation statistique des décisions antérieures (Buat-Ménard, 2019). Notion récente dans le droit, et conséquence du big-data (Conseil Européen pour l'Efficacité de la Justice, 2018), il pourrait être intéressant d'utiliser le machine-learning dans le domaine des risques naturels analysant toutes les données des jurisprudences relatives à tout risque naturel afin de réadapter les indicateurs du modèle de quantification des conséquences juridiques pour en créer un global utilisable par tous les décideurs publics. Dû à l'unicité d'une procédure qui reste soumise à l'appréciation du juge administratif, ce modèle ne se substituerait pas à l'Homme mais participerait à aider au déploiement d'une politique de prévention et permettrait de quantifier ou d'anticiper les risques d'engagement de la responsabilité administrative.

Bibliographie

- AFPS, 2011. Le séisme de Lorca (Espagne) du 11 mai 2011 - Rapport de mission.
- AFPS, 1996. Le séisme d'Epagny (France) du 15 juillet 1996 - Rapport de mission.
- Akgungor, A.C., 2007. La Turquie à l'épreuve des séismes de 1999. Une analyse sociopolitique à travers les discours médiatiques post-catastrophes (PhD Thesis).
- Alemanno, A., Lautau, K.C., Fioritto, A., Simoncini, M., Notaro, D., Petetin, L., Kindji, K., Faure, M., Laurenza, E.C., Montanari, F., 2014. Symposium on the L'Aquila Seven: re-establishing justice after a natural disaster. *Eur. J. Risk Regul.* 5, 129–167.
- Alexander, D., 2002. From civil defence to civil protection – and back again. *Disaster Prev. Manag. Int. J.* 11, 209–213. <https://doi.org/10.1108/09653560210435803>
- Alexander, D.E., 2014a. Communicating earthquake risk to the public: the trial of the “L'Aquila Seven.” *Nat. Hazards* 72, 1159–1173. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1062-2>
- Alexander, D.E., 2014b. Social Media in Disaster Risk Reduction and Crisis Management. *Sci. Eng. Ethics* 20, 717–733. <https://doi.org/10.1007/s11948-013-9502-z>
- Alexander, D.E., 2010. The L'Aquila Earthquake of 6 April 2009 and Italian Government Policy on Disaster Response. *J. Nat. Resour. Policy Res.* 2, 325–342. <https://doi.org/10.1080/19390459.2010.511450>
- Allen, T.I., Wald, D.J., Earle, P.S., Marano, K.D., Hotovec, A.J., Lin, K., Hearne, M.G., 2009. An Atlas of ShakeMaps and population exposure catalog for earthquake loss modeling. *Bull. Earthq. Eng.* 7, 701–718. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9120-y>
- Ameri, G., Massa, M., Bindi, D., D'Alema, E., Gorini, A., Luzi, L., Marzorati, S., Pacor, F., Paolucci, R., Puglia, R., 2009. The 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila (central Italy) earthquake: strong-motion observations. *Seismol. Res. Lett.* 80 (6), 951–966. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.6.951>
- Anderson, J.G., Luco, J.E., 1983. Consequences of slip rate constraints on earthquake occurrence relations. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 73, 471–496.
- Anziani, A., 2010a. Xynthia: les leçons d'une catastrophe (rapport d'étape). Rapport d'information n°554 (2009-2010), juin 2010 100.
- Anziani, A., 2010b. Xynthia: une culture du risque pour éviter de nouveaux drames. Rapport d'information n°647, I (2009-2010), juillet 2010 227.
- Anziani, A., 2010c. Xynthia: une culture du risque pour éviter de nouveaux drames (auditions). Rapport d'information n°647, II (2009-2010), juillet 2010 247.
- Anzidei, M., Boschi, E., Cannelli, V., Devoti, R., Esposito, A., Galvani, A., Melini, D., Pietrantonio, G., Riguzzi, F., Sepe, V., Serpelloni, E., 2009. Coseismic deformation of the

- destructive April 6, 2009 L'Aquila earthquake (central Italy) from GPS data. *Geophys. Res. Lett.* 36. <https://doi.org/10.1029/2009GL039145>
- AON Benfield, 2010. When the earth moves : mega-earthquakes to come? AON Benfield UCL Hazard Research Centre. Redefining Cap. Access Advocacy Innov. 4219.
- Arcuri, A., Simoncini, M., 2015. Scientists and Legal Accountability: Lessons from the L'Aquila Case. *EUI Dep. Law Res. Pap.* 2015/17, 27.
- Assises nationales des risques naturels, 2013. Actes des Assises nationales des risques naturels. Presented at the Assise nationales des risques naturels du 2 & 3 décembre 2013, Palais des Congrès Bordeaux, France.
- Astiz, L., Lay, T., Kanamori, H., 1988. Large intermediate-depth earthquakes and the subduction process. *Phys. Earth Planet. Inter.* 53, 80–166. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(88\)90138-0](https://doi.org/10.1016/0031-9201(88)90138-0)
- Atkinson, G.M., Wald, D.J., 2007. “Did You Feel It?” Intensity Data: A Surprisingly Good Measure of Earthquake Ground Motion. *Seismol. Res. Lett.* 78, 362–368. <https://doi.org/10.1785/gssrl.78.3.362>
- Atlani-Duault, L., Dufoix, S., 2014. Les sciences sociales saisies par la justice. *Socio Nouv. Rev. Sci. Soc.* 9–47. <https://doi.org/10.4000/socio.617>
- Auby, J.B., 1979. La notion de personne publique en droit administratif. Thèse Univ. Bordx. I 428.
- Auclair, S., Fabriol, H., Guézo, B., Roussillon, P., Verrhiest, G., 2007. Rédaction du guide PPRN « sismiques » consacré à l'identification des enjeux et de leur vulnérabilité ainsi qu'à la rédaction du règlement. Rapport BRGM/RP-55932-FR, novembre 2007.
- Aujollet, Y., De Galbert, M., Legrand, H., Marcq, C., Marie, F., 2017. Audit de la mise en oeuvre de la politique de prévention des risques naturels et technologiques en région Rhône-Alpes. Rapport CGEDD n°008896-05, CGAAER n°13024-06.
- Badal, J., Vazquez-prada, M., Gonzalez, A., 2005. Preliminary Quantitative Assessment of Earthquake Casualties and Damages. *Nat. Hazards* 34, 353–374. <https://doi.org/10.1007/s11069-004-3656-6>
- Bagh, S., Chiaraluce, L., De Gori, P., Moretti, M., Govoni, A., Chiarabba, C., Di Bartolomeo, P., Romanelli, M., 2007. Background seismicity in the Central Apennines of Italy: The Abruzzo region case study. *Tectonophysics* 444 (1–4), 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.08.009>
- Baker, J.W., 2008. An introduction to probabilistic seismic hazard analysis (PSHA). White Pap. Version 1, 72.
- Bakun, W.H., Scotti, O., 2006. Regional intensity attenuation models for France and the estimation of magnitude and location of historical earthquakes. *Geophys. J. Int.* 164, 596–610. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02808.x>
- Bardin, L., 1977. L'analyse de contenu (Vol. 69). Paris Press. Univ. Fr. 233.

- Barouch, G., 2010. La mise en œuvre de démarches qualité dans les services publics : une difficile transition. *Polit. Manag. Public* 109–128. <https://doi.org/10.4000/pmp.2297>
- Barroca, B., DiNardo, M., Mboumoua, I., 2013. De la vulnérabilité à la résilience : mutation ou bouleversement ? *EchoGéo*. <https://doi.org/10.4000/echogeo.13439>
- Basher, R., 2006. Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 364, 2167–2182. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1819>
- Bauche, A., Catoire, S., Meignien, X., Ménager, T., Pipien, G., 2014. Audit de la mise en œuvre de la prévention des risques naturels et technologiques Région Provence-Alpes-Côte d’Azur. Rapport CGEDD n°008890-06, CGE n°2013/06/CGEIIET/CI, CGAAER n°13024-05.
- Baumann, P., 2019. Le droit à un environnement sain en droit de la Convention européenne des droits de l’homme. Diss. Thèse Soutenue 16 novembre 2018 Univ. Nantes.
- Belrhali, H., 2017. Responsabilité administrative, Manuel. Droit public. 2ème édition. 492p. LGDJ, ISBN:978-2-275-03793-6.
- Belrhali, H., 2003. Les coauteurs en droit administratif, Thèses. Bibliothèque de droit public n°231. 392p. LGDJ, Paris. ISBN:978-2-275-02379-3.
- Bénoit, F.P., 1957. Essai sur les conditions de la responsabilité en droit public et privé (problèmes de causalité et d’imputabilité). Paris Fonds Communs Place. Dans *Innov. FCPI* 1351 N°1351 I.
- Benson, C., Twigg, J., 2004. Measuring mitigation: Methodologies for assessing natural hazard risks and the net benefits of mitigation-A scoping study. ProVention Consortium.
- Bereskie, T., Rodriguez, M.J., Sadiq, R., 2017. Drinking Water Management and Governance in Canada: An Innovative Plan-Do-Check-Act (PDCA) Framework for a Safe Drinking Water Supply. *Environ. Manage.* 60, 243–262. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0873-9>
- Berramdane, A., 1997. L’obligation de prévention des catastrophes et risques naturels. *Rev. Droit Public* 1717–1751.
- Bertrand, A., 2010. La responsabilité pénale du maire et de la commune. *Juripole Lorraine* https://www.juripole.fr/memoires/penal/Agnes_Bertrand/.
- Biagi, P.F., Castellana, L., Maggipinto, T., Loiacono, D., Schiavulli, L., Ligonzo, T., Fiore, M., Suci, E., Ermini, A., 2009. A pre seismic radio anomaly revealed in the area where the Abruzzo earthquake (M= 6.3) occurred on 6 April 2009. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1551.
- Bilham, R., 2010. Lessons from the Haiti earthquake. *Nature* 463, 878–879. <https://doi.org/10.1038/463878a>
- Bilham, R., 2009. The seismic future of cities. *Bull. Earthq. Eng.* 7, 839–887. <https://doi.org/10.1007/s10518-009-9147-0>

- Bilham, R., 2004. Urban earthquake fatalities: A safer world, or worse to come? *Seismol. Res. Lett.* 75, 706–712. <https://doi.org/10.1785/gssrl.75.6.706>
- Bindi, D., Parolai, S., Oth, A., Abdrakhmatov, K., Muraliev, A., Zschau, J., 2011. Intensity prediction equations for Central Asia: Intensity attenuation model for Central Asia. *Geophys. J. Int.* 187, 327–337. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05142.x>
- Birkmann, J., Garschagen, M., Kraas, F., Quang, N., 2010. Adaptive urban governance: new challenges for the second generation of urban adaptation strategies to climate change. *Sustain. Sci.* 5, 185–206. <https://doi.org/10.1007/s11625-010-0111-3>
- Birkmann, J., Welle, T., Solecki, W., Lwasa, S., Garschagen, M., 2016. Boost resilience of small and mid-sized cities. *Nature* 537, 605–608. <https://doi.org/10.1038/537605a>
- Blais, M., Martineau, S., 2006. L'analyse inductive générale: description d'une démarche visant à donner un sens à des données brutes. *Rech. Qual.* 26 (2), 1–18.
- Bondaz, L., 2014. Evaluation de la politique de sécurité routière. Rapport de diagnostic, tome 1, juillet 2014. *Cons. Général L'Environnement Dév. Durable* 59.
- Bosher, L., 2014. Built-in resilience through disaster risk reduction: operational issues. *Build. Res. Inf.* 42(2), 240–254. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.858203>
- Bosher, L., Dainty, A., 2011. Disaster risk reduction and 'built-in' resilience: towards overarching principles for construction practice. *Disasters* 35(1), 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2010.01189.x>
- Bowles, D.S., 2003. ALARP evaluation: using cost effectiveness and disproportionality to justify risk reduction. *Ancold Bull.* 80–104.
- Braud, F., 2012. L'éventualité de la responsabilité pénale. *Actual. Jurid. Droit Adm., La prévention et la gestion des risques naturels* 24/2012, 1342.
- Brinkhoff, T., 2010. The Principal Agglomerations of the World-Statistics and Charts as Map, Diagram, and Table. <http://www.citypopulation.de/> (dernier accès: décembre 2019).
- Brookshire, D.S., Chang, S.E., Cochrane, H., Olson, R.A., Rose, A., Steenson, J., 1997. Direct and indirect economic losses from earthquake damage. *Earthq. Spectra* 13, 683–701.
- Broyelle, C., 2020. *Contentieux administratif*, 8ème. ed, Manuel. *Droit public*. 552p. L.G.D.J, ISBN:978-2-275-07247-0.
- Buat-Ménard, É., 2019. La justice dite « prédictive » : prérequis, risques et attentes - l'expérience française. *Cah. Justice* N° 2, 269–276.
- Bühlera, È.A., Cavaillé, F., Gambino, M., 2006. Le jeune chercheur et l'interdisciplinarité en sciences sociales. *Nat. Sci. Sociétés* 14(4), 392–398.
- BWG, OFEG, UFAEG, 2005. *Vérification de la sécurité parasismique des bâtiments existants. Concept et directive pour l'étape 3. Prem. Édition.*
- Cahiers, 1990. Choix du niveau de protection. In Breysse (2009) *Historique, vocabulaire, perception* http://www.unit.eu/cours/cyberisques/etage_1/co/Module_Etage_1_36.html.

- Caillaud, A., 1998. Pour comprendre l'indice des prix. Edition 1998, 1998th ed, INSEE Méthodes. INSEE.
- Calvet, F., Manable, C., 2015. Xynthia 5 ans après: pour une véritable culture du risque dans les territoires. Rapport d'information n°536 (2014-2015), juin 2015 94.
- Cambien, A., Beaurez, N., 2020. La boussole de la résilience : repères pour la résilience territoriale Les Cahiers du Cerema. Hors Collection, 51.
- Campillo, M., Voisin, C., Nicolas, Y., 2015. Risques naturels, expertise et situation de crise. Reflets Phys. 42–45. <https://doi.org/10.1051/refdp/201543042>
- Cans, C., Diniz, I., Pontier, J.-M., Touret, T., 2014. Traité de droit des risques naturels, Référence juridique. Le moniteur, ISBN: 978-2-281-12920-5.
- Cans, C., Pontier, J.-M., 2016. Xynthia en appel ou quand les mêmes causes ne produisent pas les mêmes effets.. Actual. Jurid. Droit Adm. Dalloz 1296.
- Cans, C., Pontier, J.-M., 2015. Xynthia, ou l'incurie fautive d'un maire obstiné. Actual. Jurid. Droit Adm. (7), 379.
- Cartlidge, E., 2012. Prison Terms for L'Aquila Experts Shock Scientists. Science 338(6106), 451–452. <https://doi.org/10.1126/science.338.6106.451>
- Causse, M., Chaljub, E., Cotton, F., Cornou, C., Bard, P.-Y., 2009. New approach for coupling k- 2 and empirical Green's functions: application to the blind prediction of broad-band ground motion in the Grenoble basin. Geophys. J. Int. 179(3), 1627–1644. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04354.x>
- Cauzzi, C., Faccioli, E., 2008. Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records. J. Seismol. 12, 453–475. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9098-y>
- CCR, 2016. Les catastrophes naturelles en France: Bilan 1982 - 2016 https://catastrophes-naturelles.ccr.fr/documents/148935/148989/Bilan_CatNat_1982-2016.pdf/a7f1cd28-3fe2-eb2e-6569-60c6246e5830?t=1570518063467 & version=1.0.
- CEPRI, 2020. Les PAPI <http://www.cepri.net/les-papi.html> (dernier accès : octobre 2020).
- CGEDD, 2018. Risque sismique sur la métropole Niçoise : un enjeu national. Note du collège risques du CGEDD à l'attention de madame la vice-présidente du CGEDD.
- CGR, 2009. Verbale firmato della riunione della Commissione Nazionale per la Previsione e la Prevenzione dei Grandi Rischi del 6 aprile 2009, Prot.DPC.CD.145/2009. <https://processoaquila.wordpress.com/> (dernier accès : septembre 2020).
- Cha, L.S., 1998. Assessment of global seismic loss based on macroeconomic indicators. Nat. Hazards 17(3), 269–283. <https://doi.org/10.1023/A:1008060510137>
- Chadenas, C., Creach, A., Mercier, D., 2014. The impact of storm Xynthia in 2010 on coastal flood prevention policy in France. J. Coast. Conserv. 18, 529–538. <https://doi.org/10.1007/s11852-013-0299-3>
- Chaljub, E., Moczo, P., Tsuno, S., Bard, P.-Y., Kristek, J., Käser, M., Stupazzini, M., Kristekova, M., 2010. Quantitative comparison of four numerical predictions of 3D ground motion in

- the Grenoble Valley, France. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100(4), 1427–1455.
<https://doi.org/10.1785/0120090052>
- Chapus, R., 1968. Le service public et la puissance publique. *Rev. Droit Public* 259.
- Chardonnet, A., Thibaudon, D., 2014. PDCA et performance durable: 60 fiches pratiques de mise en oeuvre., Eyrolles. ed, Performance industrielle. ISBN: 978-2-212-56039-8.
- Chauveau, E., Pottier, P., Chadenas, C., Mercier, D., Pourinet, L., Thierry, F., Bruno, C., Blanlœil, A., 2011. La catastrophe Xynthia: un processus d'urbanisation littorale face à un fait de nature. *Cah. Nantais* (1), 37–41.
- Chen, Q.-F., Chen, Y., Chen, L., 1997a. Earthquake loss estimation by using Gross Domestic Product and population data. *Acta Seismol. Sin.* 10, 791–800.
<https://doi.org/10.1007/s11589-997-0011-5>
- Chen, Q.-F., Chen, Y., Liu, J., Chen, L., 1997b. Quick and Approximate Estimation of Earthquake Loss Based on Macroscopic Index of Exposure and Population Distribution. *Nat. Hazards* 15 (2–3), 215–229. <https://doi.org/10.1023/A:1007983209672>
- Christoskov, L., Samardjieva, E., 1984. An approach for estimation of the possible number of casualties during strong earthquakes. *Bulg Geophys J* 4, 94–106.
- Ciccozzi, A., Clemente, P., 2013. Parola di scienza: il terremoto dell'Aquila e la Commissione Grandi Rischi: un'analisi antropologica. *DeriveApprodi*, ISBN: 978-8865480656.
- Cinotti, B., Galibert, T., Pipen, G., 2019. Aléa sismique à Nice. Passer du déni à une action volontaire dans la durée. *Rapports publiés du CGEDD*, juillet 2019. Paris Cons. Général Environ. Dév. Durable 172.
- Coaffee, J., Boshier, L., 2008. Integrating counter-terrorist resilience into sustainability. *Proc. Inst. Civ. Eng. - Urban Des. Plan.* 161(2), 75–83.
<https://doi.org/10.1680/udap.2008.161.2.75>
- Coburn, A., Spence, R., 2002. *Earthquake Protection*. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-85517-1.
- Cocco, M., Cultrera, G., Amato, A., Braun, T., Cerase, A., Margheriti, L., Bonaccorso, A., Demartin, M., De Martini, P.M., Galadini, F., Meletti, C., Nostro, C., Pacor, F., Pantosti, D., Pondrelli, S., Quarenì, F., Todesco, M., 2015. The L'Aquila trial. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 419, 43–55. <https://doi.org/10.1144/SP419.13>
- Collier, M.J., Nedović-Budić, Z., Aerts, J., Connop, S., Foley, D., Foley, K., Newport, D., McQuaid, S., Slaev, A., Verburg, P., 2013. Transitioning to resilience and sustainability in urban communities. *Cities* 32, S21–S28. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.03.010>
- COMETS, 2016. Discussion et contrôle des publications scientifiques à travers les réseaux sociaux et les medias: questionnements éthiques. Avis du Comité d'éthique du CNRS (COMETS) validé le 6 avril 2016.
- COMETS, 2013. Risques naturels, expertise et situation de crise. Avis du Comité d'éthique du CNRS (COMETS) validé le 30 septembre 2013.

- Commission européenne pour l'efficacité de la justice, 2018. Charte éthique européenne d'utilisation de l'intelligence artificielle dans les systèmes judiciaires et leur environnement. In 31^e réunion plénière de la CEPEJ du 3&4 décembre 2018, Strasbourg, France.
- Conférence Habitat III, 2016. Site de la Conférence Habitat III: <http://habitat3.org/>. (dernier accès: décembre2018).
- COPRNM, 2013. Cadre d'actions pour la prévention du risque sismique http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/131007142954_cadre_actions_sismique_sept_2013.pdf, 24.
- COPRNM, 2011. La prévention du risque sismiques: orientations adoptées par le COPRNM. Rapport de la séance plénière du 10 février 2011 64.
- Corneiro, M.C., 2006. Can buildings be made earthquake-safe? *Sci.* 312 204. <https://doi.org/10.1126/science.1126302>
- Cour des comptes, 2012. Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var. Rapport public thématique. 299.
- Courboux, F., Delouis, B., Larroque, C., Deschamps, A., Bertrand, E., 2019. L'aléa sismique sur la Côte d'Azur. Note de synthèse pour le rapport de Cinotti et al., (2019). Géoazur, UMR 7329, 250 rue Albert Einstein, Université Sophia Antipolis, 06560 Valbonne.
- CSTB, 2015. Etude sur l'impact économique du changement de zonage et du passage PS92->EC8 en habitat collectif neuf sous la direction de la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature. <http://www.planseisme.fr/Quel-est-l-impact-de-la-nouvelle-reglementation-sur-le-cout.html>.
- Daniell, J., 2011. Damaging earthquakes database 2010- the year in review. Research report. CEDIM Earthq. Loss Estim. Ser. 1, 41.
- Daniell, J.E., Wenzel, F., Khazai, B., 2010. The Cost of Historic Earthquakes Today – Economic Analysis since 1900 through the use of CATDAT. Presented at the Proceedings of the Australian Earthquake Engineering Society Conference, Perth, Western Australia, p. 16.
- Darbelay, F., Paulsen, T., 2008. Le défi de l'inter-et transdisciplinarité, 1er ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, ISBN: 978-2880748098.
- Darbelay, F., Sedooka, A., Paulsen, T., 2016. La recherche interdisciplinaire sous la loupe: Paroles de chercheurs. Bern, Berlin, Bruxelles, Frankfurt am Main, New York, NY, Oxford, Wien: Peter Lang., 1er ed. PIE Peter Lang SA; New édition, ISBN: 978-3034315869.
- Davidovici, V., Hugodot, P., Boutin, J.N., 2004. Evaluation de l'application de la réglementation parasismique dans les départements des Alpes-Maritimes, Isère, Pyrénées-Atlantiques et Hautes-Pyrénées. Rapport Inspection générale de l'Environnement, juin 2004. Paris Cons. Général Ponts Chaussées 77.
- Davoudi, S., 2014. Climate Change, Securitisation of Nature, and Resilient Urbanism. *Environ. Plan. C Gov. Policy* 32, 360–375. <https://doi.org/10.1068/c12269>

- Davoudi, S., Shaw, K., Haider, L.J., Quinlan, A.E., Peterson, G.D., Wilkinson, C., Fünfgeld, H., McEvoy, D., Porter, L., Davoudi, S., 2012. Resilience: A Bridging Concept or a Dead End? “Reframing” Resilience: Challenges for Planning Theory and Practice Interacting Traps: Resilience Assessment of a Pasture Management System in Northern Afghanistan Urban Resilience: What Does it Mean in Planning Practice? Resilience as a Useful Concept for Climate Change Adaptation? The Politics of Resilience for Planning: A Cautionary Note: Edited by Simin Davoudi and Libby Porter. *Plan. Theory Pract.* 13, 299–333. <https://doi.org/10.1080/14649357.2012.677124>
- Deli, F., Pérouse, J.-F., 1999. Le tremblement de terre de Yalova-İzmit-İstanbul, premiers éléments de l'évaluation, Les dossiers de l'IFEA Série la Turquie aujourd'hui. IFEA, Istanbul. ISBN: 978-2-906053-52-6.
- Delvolvé, P., 1978. La responsabilité du fait d'autrui en droit administratif. In *Mélanges dédiées à Marty*. Université des sciences sociales de Toulouse 407–447.
- Deming, W.E., 1991. *Hors de la crise*. Economica, ISBN: 2-7178-4393-0.
- Deming, W.E., 1950. *Elementary Principles of the Statistical Control of Quality*.
- Derozier, G., 1996. Le juge administratif et la force majeure: vers une disparition de l'imprévisibilité? LPA N°PA199608404, *Gazette du palais* 15.
- Diewert, W.E., 1998. Index Number Issues in the Consumer Price Index. *J. Econ. Perspect.* 12, 47–58. <https://doi.org/10.1257/jep.12.1.47>
- Dilley, M., 2006. Setting priorities: global patterns of disaster risk. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 364, 2217–2229. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1823>
- DIREN PACA, 2008. Déclinaison du Plan Séisme en Région PACA: mise en place du comité régional, premières propositions et réflexions. Présentation du 28 février 2008 à Tholonet. http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Presentation_Plan_Seisme_PACA_280208-2.pdf.
- Dodet, M., 1998. Expertise et responsabilité: propositions pour une réflexion, in: Decrop G., Galland J.P., *Prévenir Les Risques: De Quoi Les Experts Sont-Ils Responsables?* Editions de l'Aube, ISBN: 978-2-87678-405-5, pp. 26–27.
- Dollet, C., Guéguen, P., 2020. Chapitre 3.
- Domallain, D., Dorison, A., Pipien, G., 2017. *Audit de suivi des politiques de prévention des risques naturels et technologiques en région Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Rapport CGEDD n°010599-01, CGE n°2016/08/CGE/CI et CGAAER n°16014-09.
- Dordain, S., Liolios, P., 2015. *Maîtriser le management de la qualité dans les collectivités territoriales*, Territorial. ed, Dossier D'experts.
- Dumas, P., Chavarot, A., Legrand, H., Macaire, A., Dimitrov, C., Martin, X., Queffelec, C., 2005. *Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles*. Rapport de synthèse. Affaire n°2004-0304-01 <https://cgedd.documentation.developpement-durable.gouv.fr/documents/Affaires-0004248/2004-0304-01.pdf> (dernier accès: septembre 2020).

- Dunand, F., Gueguen, P., 2012. Comparison between seismic and domestic risk in moderate seismic hazard prone region: the Grenoble City (France) test site. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12, 511–526. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-511-2012>
- Dunand, F., Guéguen, P., 2010. Analyse du risque sismique de Grenoble: le cas d'une ville exposée à un aléa modéré Projet PGRN 2009.
- Dunbar, P.K., Bilham, R.G., Laituri, M.J., 2003. Earthquake Loss Estimation for India Based on Macroeconomic Indicators, in: Beer, T., Ismail-Zadeh, A. (Eds.), *Risk Science and Sustainability Science for Reduction of Risk and Sustainable Development of Society*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 163–180. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0167-0_13
- Durfort, S., 2018. Institutions et principes fondamentaux du procès civil. *Univ. Numér. Jurid. Francoph.* <https://cours.unjf.fr/course/search.php?search=durfort> (dernier accès: septembre 2020).
- ECDE, 1999. Réflexions sur l'intérêt général. Rapport public 1999. *Doc. Fr.* (50), 272.
- Edwards, A.W.F., 1992. *Likelihood* Baltimore. MD John Hopkins Univ.
- Eisenmann, C., 1983. La responsabilité du droit administratif, Cours 1956-1954. LGDJ, ISBN: 978-2247082407.
- Eisenmann, C., 1949. Sur le degré d'originalité du régime de la responsabilité extra-contractuelle des personnes (collectivités) publiques. *JCP I*(742 & 751).
- Elliott, A., 2010. Habitat for humanity international, fact finding report on poverty and housing in Turkey. www.habitat.org/eurasia/pdf/poverty_housing_study_turkey.pdf.
- Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M.B., Hancılar, U., Zülfiyar, C., 2011. Rapid earthquake loss assessment after damaging earthquakes. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 31, 247–266. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.03.009>
- Farmer, F.R., 1967. Siting criteria-a new approach., in: *Siting of Nuclear Power Plants. Proceedings of a Symposium on the Containment and Siting of Nuclear Power Plants*. IAEA, Vienna. ISSN: 0074-1884, pp. 303–323.
- Fédération Française de l'Assurance, 2014. Pour une meilleure prévention et protection contre les aléas naturels. Livre Blanc 36.
- FEMA, 1996. Costs and benefits of natural hazard mitigation. (FEMA, 132). USA. https://www.wbdg.org/FFC/DHS/fema_cost_nat_haz_mit.pdf.
- FENVAC, 2014. Procès de la tempête Xynthia devant le Tribunal correctionnel des Sables d'Olonne. Septembre à Octobre 2014. Rapport d'audiences, 446 p.
- Finlay, P.J., Fell, R., 1997. Landslides: risk perception and acceptance. *Can. Geotech. J.* 34(2), 169–188. <https://doi.org/10.1139/t96-108>
- Flauw, Y., Lenoble, C., 2014. Guide de mise en oeuvre du principe ALARP sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). DRA 71 - Opération A.5. Rapport d'étude n°DRA-14-141532-06175A. INERIS.

- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., Walker, B., 2002. Resilience and Sustainable Development: Building Adaptive Capacity in a World of Transformations. *AMBIO J. Hum. Environ.* 31, 437–440. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-31.5.437>
- Fortin, M., 1991. Rapport concernant la mise en œuvre et le contrôle de l'application des textes relatifs à la prévention du risque sismique. IGE.
- Frémaux, C., 2002. La responsabilité des maires face aux risques naturels. *Ann. Mines* 43-48.
- Frier, P.-L., Petit, J., 2015. *Droit administratif 2015-016* (10^e édition). Lgdj Précis Domat Droit Public.
- Galbraith, J.K., 2007. *The New Industrial State*. Princeton University Press, ISBN: 978-0-691-13141-2.
- Galland, J.-P., 1998. Les responsabilités des experts et le principe de précaution. *Nat. Sci. Sociétés* 6(1), 46–49.
- Galluccio, A., 2014. Terremoto dell'Aquila e responsabilità penale. *Dirit. Penale Contemp., Giurisprudenza in primo piano* 190–214.
- Galochet, M., Longuépée, J., Morel, V., Petit, O., 2008. *L'environnement: discours et pratiques interdisciplinaires*. Artois Presses Université, ISBN: 978-2848320847.
- Garapon, A., Salas, D., 1996. *La République pénalisée: Débat avec Olivier Mongin*. Hachette Littératures (réédition numérique FeniXX), ASIN: B0779FDYYT.
- GEMGEP, 2005. Le risque sismique à Nice: apport méthodologique, résultats et perspectives opérationnelles. Rapport final du 7 avril 2005.
- Giacomo, D.D., Engdahl, E.R., Storchak, D.A., 2018. The ISC-GEM Earthquake Catalogue (1904–2014): status after the Extension Project. *Earth Syst. Sci. Data* 10, 1877–1899. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1877-2018>
- Goda, K., Kiyota, T., Pokhrel, R.M., Chiaro, G., Katagiri, T., Sharma, K., Wilkinson, S., 2015. The 2015 Gorkha Nepal Earthquake: Insights from Earthquake Damage Survey. *Front. Built Environ.* 1. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2015.00008>
- Gorenflo, G., Moran, J.W., 2010. *The ABCs of PDCA*. Public Health Found.
- Grandori, G., Drei, A., Perotti, F., Tagliani, A., 1991. Macro seismic intensity versus epicentral distance: the case of Central Italy. *Tectonophysics* 193, 165–171. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(91\)90196-Y](https://doi.org/10.1016/0040-1951(91)90196-Y)
- Grünthal, G., Musson, R.M.W., 1998. European macro seismic scale 1998. *Conseil de l'Europe. Cah. Cent. Eur. Géodynamique Séismologie* 15, 1–99.
- Grunvald, S., Danet, J., 2014. Procédure pénale. *Univ. Numér. Jurid. Francoph.* <https://cours.unjf.fr/course/search.php?search=grunvald> (dernier accès: septembre 2020).
- GSHAP, 2011. *Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)* <http://www.seismo.ethz.ch/static/GSHAP/> (dernier accès: décembre 2019).

- Guéguen, P., Yepes, H., Riedel, I., 2016. On the Value of Earthquake Scenario: The Kathmandu Recent Lesson. *Front. Built Environ.* 1. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2015.00026>
- Guénon, C., 2013. Prévision des risques et gestion de crise : comment décider dans l'incertitude?, in: Atelier 3. Presented at the Assises nationales des risques naturels du 2&3 décembre 2013, Palais des Congrès Bordeaux, France.
- Guérin, E., 2016. Les personnes publiques. In Cnfpt, octobre 2016. [http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine/Les+personnes+publiques+.](http://www.wikiterritorial.cnfpt.fr/xwiki/bin/view/vitrine/Les+personnes+publiques+)
- Guettiche, A., Guéguen, P., Mimoune, M., 2017. Economic and Human Loss Empirical Models for Earthquakes in the Mediterranean Region, with Particular Focus on Algeria. *Int. J. Disaster Risk Sci.* 8, 415–434. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0153-6>
- Guettier, C., 2011. Le traitement des catastrophes par le droit de la responsabilité administrative. *RISEO* 3 71-90.
- Guettier, C., 2005. Du droit de la responsabilité administrative dans ses rapports avec la notion de risque. *Actual. Jurid. Ed. Droit Adm.* (27), 1499–1535.
- Guézo, B., Serretiello, C., 2008. Démarche qualité du Plan séisme : les fiches-actions et les fiches-produits. In Journées techniques du Plan séisme du 5 & 6 février 2008 (CERTU) http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/Gouvernance_demarche_qualite.pdf.
- Guezo, B., Verrhiest, G., 2006. Réduire la vulnérabilité urbaine aux risques majeurs.
- Guha-Sapir, D., Vos, F., Below, R., Ponserre, S., 2016. Annual disaster statistical review 2016: The numbers and trends. *Cent. Res. Epidemiol. Disasters* 59.
- Guinchard, S., Buisson, J., 2020. Procédure pénale, 13ème. ed, Manuels. LexisNexis, ISBN: 978-2-7110-3337-9.
- Guinchard, S., Debard, T., 2020. Lexique des termes juridiques., 28ème édition 2020-2021. ed, Lexiques. Dalloz, Paris. ISBN: 2-247-17849-9.
- Guinchard, S., Ferrand, F., Chainais, C., Mayer, L., 2019. Procédure civile., 6ème. ed, HyperCours. Dalloz, ISBN: 2-247-16939-2.
- Gülkan, P., Reitherman, R.K., 2014. Building Codes and Standards, in: Beer, M., Kougoumtzoglou, I.A., Patelli, E., Au, I.S.-K. (Eds.), *Encyclopedia of Earthquake Engineering*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 1–14. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36197-5_393-1
- Gutenberg, B., Richter, C., 1949. *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*. Princeton University Press, New-Jersey, USA.
- Halévi, R., 2020. Pourquoi les professeurs de certitudes sur le “monde d’après” vont être démentis. *Débat*. Figaro 15.
- HAS, 2014. Manuel de certification des établissements de sante. V2010. Direction de l’amélioration de la qualité et de la sécurité des soins. ACCO1-T052-E.
- Hassler, U., Kohler, N., 2014. The ideal of resilient systems and questions of continuity. *Build. Res. Inf.* 42, 158–167. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.858927>

- HCERES, 2018. Référentiel d'évaluation des unités de recherche interdisciplinaires. Campagne d'évaluation 2019-2020. Eval. Qual. HCERES Vague A, 8.
- HCFRN, 2020. Haut comité français pour la résilience nationale (HCFRN) <https://www.hcfrc.org/> et Site La Démarche locale de résilience <https://www.resilience-et-territoire.fr/fr/accueil> (dernier accès: septembre 2020).
- Heatwole, N., Rose, A., 2013. A reduced-form rapid economic consequence estimating model: Application to property damage from U.S. earthquakes. *Int. J. Disaster Risk Sci.* 4, 20–32. <https://doi.org/10.1007/s13753-013-0004-z>
- Hoarau, J.F., Peyen, L., Goujon, M., Dupéré, O., 2018. Vulnérabilité, risques naturels, aménagement du territoire et politique de la ville. In Colloque “Vulnérabilité et droits fondamentaux” 19&10 avril 2018 - Université de la Réunion. RDLF 2019 chron n°18, 34.
- Holzer, T.L., Savage, J.C., 2013. Global Earthquake Fatalities and Population. *Earthq. Spectra* 29, 155–175. <https://doi.org/10.1193/1.4000106>
- Hornyak, T., 2018. Facing down disaster. *Nature* 555, S66–S66. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-02900-7>
- HSE, 1988. The tolerability of risk from nuclear power stations., Revised edition, 1992. ed, Discussion document. London: HMSO. ISBN: 978-0-11-883982-2.
- Huppert, H.E., Sparks, R.S.J., 2006. Extreme natural hazards: population growth, globalization and environmental change. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 364, 1875–1888. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1803>
- Imperiale, A.J., Vanclay, F., 2019. Reflections on the L'Aquila trial and the social dimensions of disaster risk. *Disaster Prev. Manag. Int. J.* 28, 434–445. <https://doi.org/10.1108/DPM-01-2018-0030>
- INGV official reports, 2009. INGV reports to DPC (February 17 and March 12, 2009) and INGV report presented at the meeting of the CGR on March 31, 2009. <https://processoaquila.wordpress.com/prima-del-processo/> (dernier accès: septembre 2020).
- Jackson, J., 2006. Fatal attraction: living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 364, 1911–1925. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1805>
- Jaiswal, K., Wald, D., 2010. An Empirical Model for Global Earthquake Fatality Estimation. *Earthq. Spectra* 26, 1017–1037. <https://doi.org/10.1193/1.3480331>
- Jaiswal, K., Wald, D., Porter, K., 2010. A global building inventory for earthquake loss estimation and risk management. *Earthq. Spectra* 26(3), 731–748. <https://doi.org/10.1193/1.3450316>
- Jaiswal, K.S., Wald, D.J., 2013. Strategies for rapid global earthquake impact estimation: the Prompt Assessment of Global Earthquakes for Response (PAGER) system, in: *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems*. Elsevier, pp. 839–869e. <https://doi.org/10.1533/9780857098986.5.839>

- Jay, D., Quitariano, V., Bruce, C., Hopper, M., W, J., 2012. USGS “Did You Feel It?” Internet-based macroseismic intensity maps. *Ann. Geophys.* <https://doi.org/10.4401/ag-5354>
- Jordan, T., Jones, L., 2010. Operational Earthquake Forecasting: Some Thoughts on Why and How. *Seismol. Res. Lett.* 81. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.4.571>
- Joye, J.-F., Dreuille, J.-F., Calley, G., 2015. L'accident en montagne. Étude juridique. Presses Universitaires Savoie Mont Blanc, ISBN: 978-2-919732-34-0.
- Kasapoğlu, A., Ecevit, M., 2003. Impact of the 1999 East Marmara earthquake in Turkey. *Popul. Environ.* 24(4), 339–358. <https://doi.org/10.1023/A:1022453722574>
- Kervern, G.-Y., Rubise, P., Cousteau, J.-Y., Laborit, H., 1991. L'archipel du danger: introduction aux cindyniques. *Economica*, ASIN: B00A1P8H5E.
- Kinchin, G.H., 1982. The Concept of Risk, in: *Hugh Risk Safety Technology*. Wiley, ISBN: 978-0-471-10153-6, p. 654.
- Klein, J.T., 1984. Interdisciplinarity and complexity: An evolving relationship. *Structure* 71, 72.
- Klein, R.J.T., Nicholls, R.J., Thomalla, F., 2003. Resilience to natural hazards: How useful is this concept? *Environ. Hazards* 5, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.hazards.2004.02.001>
- Kopp, P., 2015. Le coût social des drogues en France. *St.-Denis Obs. Fr. Drogue Toxicom.* 10.
- Kopp, P., Fenoglio, P., 2006. Le coût social des drogues licites (alcool et tabac) et illicites en France. *Paris Obs. Fr. Drogue Toxicom.*
- Kunreuther, H., Meyer, R., Michel-Kerjan, E., 2013. Overcoming decision biases to reduce losses from natural catastrophes., in: *The Behavioral Foundations Of Public Policy*. Princeton University Press, ISBN: 978-0691137568, pp. 398–413.
- Lacroix, C., 2008. La réparation des dommages en cas de catastrophes, *Bibliothèque de droit privé*. ed, Thèses. LGDJ, ISBN: 978-2-275-03261-0.
- Lacroix, E., Tacnet, J.M., Jarry, F., 2005. Risques naturels en montagne : aspects juridiques de l'affichage de l'incertitude dans les expertises. Master dissertation “Droit et développement de la montagne.”
- Lambert, A., Migaud, D., 2005. La mise en oeuvre de la loi organique relative aux lois de finances - Réussir la LOLF, clé d'une gestion publiques responsable et efficace. Rapport public Ministère du Budget et de la Réforme budgétaire. *Doc. Fr.* 182.
- Lamontagne, M., Flynn, B.W., 2014. Communications in the Aftermath of a Major Earthquake: Bringing Science to Citizens to Promote Recovery. *Seismol. Res. Lett.* 85, 561–565. <https://doi.org/10.1785/0220130118>
- Langley, G.J., Nolan, K.M., Nolan, T.W., 1994. The foundation of improvement. *Qual. Prog.* 27(6), 81–86.
- Lannoy, A., 2013. Le risque acceptable: panorama des méthodes existantes pour le déterminer. *Inst. Pour Maîtrise Risques* 54.

- Laronde-Clérac, C., Mazeaud, A., Michelot, A., 2015. Les risques naturels en zones côtières: Xynthia: enjeux politiques, questionnements juridiques. Presses universitaires de Rennes, ISBN: 978-2-7535-4184-9.
- Larroque, C., Béthoux, N., Calais, E., Courboulex, F., Deschamps, A., Déverchère, J., Stéphan, J.F., Ritz, J.F., Gilli, E., 2001. Active and recent deformation at the Southern Alps-Ligurian basin junction. *Geol. En Mijnb.* 80(3/4), 255–272.
- Larroque, C., Scotti, O., Ioualalen, M., Hassoun, V., Migeon, S., 2012. Reappraisal of the 1887 Ligurian earthquake (western Mediterranean) from macroseismicity, active tectonics and tsunami modelling. *Geophys. J. Int.* 190, 8111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05498.x>
- Laub, P.M., 1997. Report on costs and benefits of natural hazard mitigation. DIANE Publishing, ISBN: 978-0788148637.
- Leroi, E., 2005. Réalisation d'une étude sur les critères pour la définition de mesures de réduction du risque sismique du bâti existant en France. Rapport R-URB/MEDD-Vuln/051220-01 97.
- Levret, A., Backe, J.C., Cushing, M., 1994. Atlas of macroseismic maps for French earthquakes with their principal characteristics. *Nat. Hazards* 10(1-2), 19–46.
- Levret, A., Cushing, M., Peyridieu, G., 1996. Recherche des Caractéristiques de Séismes Historiques en France. Atlas de 140 cartes macrosismiques. *Inst. Prot. Sécurité Nucl.* 2, 399.
- Liu, L., Xie, L., 2008. Research on acceptable risk level for cities' ability in reducing earthquake disasters, in: *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Lodgaard, E., Aasland, K.E., 2011. An examination of the application of plan-do-check-act cycle in product development. In *DS 68-10: Proceedings of the 18th International Conference on Engineering Design (ICED 11), Impacting Society through Engineering Design, Vol. 10: Design Methods and Tools pt. 2, Lynjby/Copenhagen, Denmark, 15-19 august 2011* 9.
- Lutoff, C., Masure, C., Thierry, P., 1998. Projet GEMITIS Nice: Identification des principaux enjeux sur la ville de Nice. Rapport BRGM/RP-39907 225.
- Maillot, J.-M., 2013. Contentieux administratif. *Univ. Numér. Jurid. Francoph.* <https://cours.unjf.fr/course/search.php?search=maillot> (dernier accès: septembre 2020).
- Mancebo, F., 2007. Des risques « naturels » aux politiques urbaines à Mexico. *Rev. Géographie Alp.* 95–107. <https://doi.org/10.4000/rga.258>
- Mannella, A., Di Ludovico, M., Sabino, A., Prota, A., Dolce, M., Manfredi, G., 2017. Analysis of the Population Assistance and Returning Home in the Reconstruction Process of the 2009 L'Aquila Earthquake. *Sustainability* 9, 1395. <https://doi.org/10.3390/su9081395>
- Manoha, A., 2004. Le jugement pénal et l'application de la loi du 10 juillet 2000. *Gaz. Palais* (50), 10.

- Manyena, S.B., 2006. The concept of resilience revisited: The Concept of Resilience Revisited. *Disasters* 30, 434–450. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>
- Maréchal, J.Y., 2010. Art.121-3, Fasc. 20: Élément moral de l'infraction. *JurisClasseur Pénal Code*.
- Masci, F., Palangio, P., Di Persio, M., 2009. Magnetic anomalies possibly linked to local low seismicity. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* <https://doi.org/10.5194/nhess-9-1567-2009>
- Maudet, J., SEBAN ATLANTIQUE, 2018. Tempête XYNTHIA : Synthèse des procédures., in: *Risque Sismique: Organisation, Réglementation, Responsabilité*. Presented at the Séminaire Science-Décision-Action, Saint-Martin-d'Hères, France.
- Mayaud, Y., 2013. La responsabilité pénale liée aux catastrophes naturelles : quelle défense pour les décideurs locaux? *Lamy Collectiv. Territ.*, 4ème partie : recherche de responsabilité et causes d'exonération (88), 79–81.
- Mazzotti, S., Leonard, L.J., Cassidy, J.F., Rogers, G.C., Halchuk, S., 2011. Seismic hazard in western Canada from GPS strain rates versus earthquake catalog. *J. Geophys. Res.* 116. <https://doi.org/10.1029/2011JB008213>
- McCaughey, J.W., Daly, P., Mundir, I., Mahdi, S., Patt, A., 2018. Socio-economic consequences of post-disaster reconstruction in hazard-exposed areas. *Nat. Sustain.* 1, 38–43. <https://doi.org/10.1038/s41893-017-0002-z>
- MCTRCT, 2020. Démarche et outils pour élaborer un plan local d'urbanisme (PLU) et un PLUI <https://www.cohesion-territoires.gouv.fr/demarche-et-outils-pour-elaborer-un-plan-local-durbanisme-plu-et-un-plui> (dernier accès : septembre 2020).
- MEDD, 1982. Le risque sismique. Délégation aux risques majeurs. In Guéguen P. et G. Talierco. (2007). *Gestion du patrimoine bâti et risque sismique : automatisation de calcul de l'indice de vulnérabilité des bâtiments*. Programme de recherche.
- MEDDE, 2011. La sismicité en métropole et en outre-mer <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/2055/0/sismicite-metropole-outre-mer.html> (dernier accès: septembre 2020).
- MEDDTL, 2011a. Plan submersions rapide - Annexe 4: Principes généraux de la politique de prévention des risques naturels. DICOM – DGPR/COU/11003.
- MEDDTL, 2011b. Programmes d'action de prévention des inondations (PAPI). De la stratégie aux programmes d'action. Cahier des charges. DICOM-DGPR/BRO/11002.
- Meyer, R., Kunreuther, H., 2017. *The Ostrich Paradox: Why We Underprepare for Disasters*. Wharton School Press, ISBN: 978-1-61363-079-2.
- Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, 2020. *Projet de loi de programmation de la recherche 2021-2030* https://cache.media.enseignementsup-recherche.gouv.fr/file/loi_programmation_pluriannuelle/14/8/LPR_DP_2020_sept_1323148.pdf.
- Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017a. *Plan séisme Antilles : Bilan cumulé de la première phase du plan (2007-2013) et de la phase transitoire (2014-2015)*. Etat des

- réalisations et projets en cours <http://www.planseisme.fr/-Espace-Plan-Seisme-Antilles-.html> (dernier accès: septembre 2020).
- Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017b. Plan séisme Antilles : Horizon 2020. Objectifs de la deuxième phase (2016-2020). <http://www.martinique.gouv.fr/content/download/8992/71178/file/Plan%20S%C3%A9isme%20Antilles%20Horizon%202020.pdf>.
- Ministère Néozélandais, 2014. Christchurch central recovery plan. Canterb. Earthq. Recovery Auth. 120.
- Mission d'Inspection Spécialisée de l'Environnement, 1999. Echelle de gravité des dommages. In MTES, 2020 <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-risques-majeurs> (dernier accès: septembre 2020).
- Moen, R., 2009. Foundation and History of the PDSA Cycle. In The 7th ANQ Congress, Tokyo 2009, September 17, 2009.
- Moen, R., Norman, C., 2006. Evolution of the PDCA cycle. <https://doi.org/10.1.1.470.5465>
- Moffatt, S., 2014. Resilience and competing temporalities in cities. *Build. Res. Inf.* 42(2), 202–220. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.869894>
- Monfort, D., Taillefer, T., Maisonhaute, E., 2018. Réévaluation du risque sismique dans les Alpes-Maritimes. Note technique révisée, BRGM/RP-022018-FR, juillet.
- Morand-Deville, J., Bourdon, P., Poulet, F., 2019. Droit administratif, 16ème. ed, Cours. LGDJ, ISBN: 2275064857.
- Morin, E., 2020. Tweeter <https://twitter.com/edgarmorinparis/status/1257233957592145920> (dernier accès: septembre 2020).
- Morin, E., 1994. Sur l'interdisciplinarité. *Bull. Interactif Cent. Int. Rech. Études Transdiscipl.* 2(2), 7.
- Mouroux, P., Le Brun, B., Depinois, S., Bertrand, E., Masure, P., 2004. Projet européen RISK-UE: application à la ville de Nice. Rapport BRGM/RP-53202. 142.
- MRN, 2009. Evaluation de la pertinence de la couverture des PPRN Inondations. In Evaluation de la contribution des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) à la réduction de la vulnérabilité collective et individuelle. https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2017/11/mrn_evaluation_pprni_synthese2.pdf.
- MTES, 2020a. Prévention des risques naturels. <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-risques-naturels> (dernier accès: septembre 2020).
- MTES, 2020b. Les 7 piliers de la prévention des risques naturels. <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/LES%207%20PILIERES%20DE%20LA%20PRE%20VENTION%20DES%20RISQUES%20NATURELS.pdf>.
- MTES, 2017a. Analyse multi-critères de la réglementation parasismique applicable aux bâtiments de la classe dite à « risque normal » et de son efficacité dans les zones de sismicité faible à modérée. Rapport technique 3209 NT 004 60.

- MTES, 2017b. Rapport 2015-2017 du délégué aux risques majeurs par la direction générale de la prévention des risques https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Rapp%20DRM_A4_180118_web.pdf, 38.
- MTES, 2017c. Instruction du Gouvernement du 29 juin 2017 relative au dispositif de labellisation des programmes d'actions de prévention des inondations "PAPI 3". NOR: TREP1717285J <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-inondations> (dernier accès: septembre 2020).
- MTES, 2016. Rapport sur la gestion du fonds de prévention des risques naturels majeurs. Annexe au projet de loi de finance pour 2016. 57.
- MTES, 2015. Rapport sur la gestion du fonds de prévention des risques naturels majeurs. Annexe au projet de loi de finance pour 2015 68.
- MTES, 2014. Rapport sur la gestion du fonds de prévention des risques naturels majeurs. Annexe au projet de loi de finance pour 2014 49.
- Mukamurera, J., Lacourse, F., Couturier, Y., 2006. Des avancées en analyse qualitative: pour une transparence et une systématisation des pratiques. *Rech. Qual.* 26(1), 110–138.
- Nations Unies, 1999a. Report of the Secretary-General on the work of the Organization. General Assembly, New-York. In Official Records, 54th Session, A/54/1.
- Nations Unies, 1999b. Communiqué de Presse AG/EF/287.
- Nichols, J.M., Beavers, J.E., 2008. World Earthquake Fatalities from the Past: Implications for the Present and Future. *Nat. Hazards Rev.* 9, 179–189. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2008\)9:4\(179\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:4(179))
- Nichols, J.M., Beavers, J.E., 2003. Development and Calibration of an Earthquake Fatality Function. *Earthq. Spectra* 19, 605–633. <https://doi.org/10.1193/1.1596916>
- Nicoud, F., 2011. Catastrophes et réglementation d'urbanisme. *RISEO* 3, 49–69.
- Nievas, C.I., Bommer, J.J., Crowley, H., van Elk, J., 2020a. Global occurrence and impact of small-to-medium magnitude earthquakes: a statistical analysis. *Bull. Earthq. Eng.* 18, 1–35. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00718-w>
- Nievas, C.I., Bommer, J.J., Crowley, H., van Elk, J., Ntinalexis, M., Sangirardi, M., 2020b. A database of damaging small-to-medium magnitude earthquakes. *J. Seismol.* 24, 263–292. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09897-0>
- Noji, E.K., 2005. Public health issues in disasters: *Crit. Care Med.* 33, S29–S33. <https://doi.org/10.1097/01.CCM.0000151064.98207.9C>
- OFDT, 2019. Drogues et addictions, données essentielles, 7ème. ed, <https://www.ofdt.fr/publications/collections/rapports/ouvrages-collectifs/drogues-et-addictions-donnees-essentielles/>. OFDT Paris, ISBN: 979-10-92728-28-6.
- OFDT, 2013. Drogues et addictions, données essentielles, 1ère. ed, <https://www.vie-publique.fr/rapport/33194-drogues-et-addictions-donnees-essentielles-edition-2013>. OFDT Paris, ISBN: 978-2-11-128270-4.

- Ohta, Y., Goto, N., Ohashi, M., 1993. An empirical construction of equations for estimating number of victims at an earthquake. *Zisin II* 36, 463–466.
- Oike, K., 1991. A discussion on the relation between magnitude and number of deaths by earthquakes, In: *Proc. Int. Seminar on Earthquake and Hazard Mitigation Technology*, Tsukuba, Japan, pp. 333–341.
- ONISR, 2016. La sécurité routière en France: Bilan de l'accidentalité de l'année 2016. <http://www.securite-routiere.gouv.fr/medias/espace-presse/publications-presse/bilan-definitif-de-l-accidentalite-routiere-2016> (dernier accès: décembre 2019), 183.
- ONISR, 2015. La sécurité routière en France: Bilan de l'accidentalité de l'année 2015 <http://www.securite-routiere.gouv.fr/medias/espace-presse/publications-presse/bilan-definitif-de-l-accidentalite-routiere-2015> (dernier accès: décembre 2019), 179.
- ONISR, 2012. La sécurité routière en France: Bilan de l'accidentalité de l'année 2012 <http://www.securite-routiere.gouv.fr/medias/espace-presse/publications-presse/bilan-definitif-de-l-accidentalite-routiere-2012> (dernier accès: décembre 2019), 110.
- OSUG, 2020. A proximité de Grenoble: la faille bordière de Belledonne. Dossier Séismes, failles, ondes <https://www.isterre.fr/french/formation/sciences-pour-tous-tes/seismes-failles-ondes/article/a-proximite-de-grenoble-la-faille-bordiere-de-belledonne.html> (dernier accès: septembre 2020).
- Paillet, M., 1997. La responsabilité administrative, Cours. Dalloz-Sirey, ISBN: 2247023769.
- Paillet, M., 1980. La faute du service public en droit administratif français, LGDJ, ed, Bibliothèque de droit public. Texte remanié de Thèse Droit Bordeaux 1 1979, Paris. ISBN: 2-275-011112-9.
- Papadopoulos, G.A., Charalampakis, M., Fokaefs, A., Minadakis, G., 2010. Strong foreshock signal preceding the L'Aquila (Italy) earthquake (M_w 6.3) of 6 April 2009. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 19–24. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-19-2010>
- Pereira, A.S., 2009. The Opportunity of a Disaster: The Economic Impact of the 1755 Lisbon Earthquake. *J. Econ. Hist.* 69, 466. <https://doi.org/10.1017/S0022050709000850>
- Pilczer, J.-S., 2010. La notion de service public. *Inf. Soc.* 158(2), 6-9. ISSN: 0046-9459.
- Pin, X., 2019. Droit pénal général (édition 2020) - Xavier Pin - Dalloz, 11ème édition 2020. ed, Cours. Dalloz, Paris. ISBN: 978-2-247-18721-8.
- Planiol, M., 1949. Etudes sur la responsabilité civile. *Rev. Crit. Législation Jurisprud.* 287.
- Planséisme, 2020. Rhône-Alpes <http://www.planseisme.fr/-Rhône-Alpes-.html> (dernier accès: septembre 2020).
- PLF, 2018. Rapport sur la gestion du Fonds de prévention des risques naturels majeurs. In Annexe au projet de loi de finances pour 2019.
- Pothon, A., Gueguen, P., Buisine, S., Bard, P.-Y., 2019. California earthquake insurance unpopularity: the issue is the price, not the risk perception. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 19(8), 1909–1924. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1909-2019>

- Potsiou, C., 2010. Rapid urbanization and mega cities: The need for spatial information management. Research study by FIG Commission, 3. International Federation Surveyors, Copenhagen.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, 2009. Lettera di convocazione alla riunione delle CGR del 31 marzo 2009, n°0668202873. <https://processoaquila.wordpress.com/prima-del-processo/> (dernier accès : septembre 2020).
- Priet, F., 2005. Responsabilités respectives de la commune et de l'Etat du fait d'une avalanche, note sous CAA Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879. AJDA 785–790.
- Przyluski, V., Hallegatte, S., 2013. Gestion des risques naturels: Leçons de la tempête Xynthia, 1er ed. Editions Quae, ISBN: 978-2759218202.
- Quenault, B., 2015. De Hyōgo à Sendai, la résilience comme impératif d'adaptation aux risques de catastrophe: nouvelle valeur universelle ou gouvernement par la catastrophe? *Dév. Durable Territ. Économie Géographie Polit. Droit Sociol.* 6(3). <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.11010>
- Rainaud, A., 2019. La responsabilité des personnes publiques face au risque littoral: le cas de la tempête Xynthia. Presses Universitaires de Toulouse.
- Ramos, L.F., Lourenço, P.B., 2004. Modeling and vulnerability of historical city centers in seismic areas: a case study in Lisbon. *Eng. Struct.* 26, 1295–1310. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.04.008>
- RÉNASS, 2020. Séisme du 11 janvier 1999, Laffrey (Isère). Fiche séisme de l'édition "Observations Sismologiques : Sismicité de la France en 1997, 1998 et 1999".
- Requillart, J.P., 2014. Gestion administrative des risques naturels : pouvoirs du maire. Aide-mémoire sur les principaux outils réglementaires disponibles. Mémento Maire V8C.
- Rey, J., Auclair, S., Monfort, D., Vanoudheusden, E., Rivet, F., Vandromme, R., Bès de Berc, S., Poncelet, C., 2009. Pré-diagnostic sur les microzonages sismiques pour des communes d'importance variable. Rapport BRGM-RP-57129-FR, novembre 2009.
- Riedel, I., 2016. Seismic vulnerability analysis of existent buildings. Loss estimation and uncertainty analysis for deterministic earthquake scenarios. Thèse Univ. Grenoble Alpes 213.
- Riedel, I., Guéguen, P., Dalla Mura, M., Pathier, E., Leduc, T., Chanussot, J., 2015. Seismic vulnerability assessment of urban environments in moderate-to-low seismic hazard regions using association rule learning and support vector machine methods. *Nat. Hazards* 76(2), 1111–1141. <https://doi.org/doi.org/10.1007/s11069-014-1538-0>
- Riedel, I., Gueguen, P., Dunand, F., Cottaz, S., 2014. Macroscale Vulnerability Assessment of Cities Using Association Rule Learning. *Seismol. Res. Lett.* 85(2), 295–305. <https://doi.org/10.1785/0220130148>
- RISK-UE, 2004. An advanced approach to earthquake risk. Scénarios, with application to different European towns. Synthesis of the application to Nice city. WP4–Vulnerability Curr. Build. Eur. Comm. Risk-UE RISK-UE–EVK4-CT-2000-00014 110.

- Rousseau, F., 2015. Le principe de précaution dans le contentieux pénal français. Dynamiques normatives du principe de précaution et métamorphoses de la responsabilité juridique. UMR de droit comparé de l'Université Paris I avec le soutien de la Mission de Recherche Droit et Justice Mar 2015, Paris, France.
- Rousseau, F., 2011. Chapitre 7 : L'élu local et le risque pénal., in: Feldman, J. P., & Guiselin, E. P. (2011). *Les Mutations de La Démocratie Locale: Élections et Statut Des Élus*. L'Harmattan, ISBN: 978-2-296-54998-2, p. 318.
- Samardjieva, E., Badal, J., 2002. Estimation of the Expected Number of Casualties Caused by Strong Earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 92, 2310–2322. <https://doi.org/10.1785/0120010112>
- Samardjieva, E., Oike, K., 1992. Modelling the number of casualties from earthquakes. *J. Nat. Disaster Sci.* 14(1), 17–28.
- Sanchez, A., van der Heijden, J., Osmond, P., 2018. The city politics of an urban age: urban resilience conceptualisations and policies. *Palgrave Commun.* 4. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0074-z>
- Schanze, J., 2006. Flood risk management—a basic framework, in: *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures*. Springer Netherlands, ISBN: 978-1-4020-4596-7, pp. 1–20.
- Scherbaum, F., Cotton, F., Smit, P., 2004. On the use of response spectral-reference data for the selection and ranking of ground-motion models for seismic-hazard analysis in regions of moderate seismicity: The case of rock motion. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 94, 2164–2185. <https://doi.org/10.1785/0120030147>
- Schumacher, I., Strobl, E., 2011. Economic development and losses due to natural disasters: The role of hazard exposure. *Ecol. Econ.* 72, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.09.002>
- Scotti, V., 2015. More about the verdict in the L'Aquila Earthquake Trial [Legal Metrology]. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 18, 44–45.
- Scotti, V., 2014. The sentence in the L'Aquila earthquake trial. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 17, 41–45. <https://doi.org/10.1109/MIM.2014.6810045>
- Secrétariat général pour la modernisation de l'action publique, 2013. Référentiel Marianne. Les engagements qualité. https://www.modernisation.gouv.fr/sites/default/files/fichiers-attaches/referentiel_marianne_vf_juin_2013.pdf.
- Séguin, P., Bazy-Malaurie, C., 2009. Cour des comptes. Le rapport public annuel 2009 - Synthèses. <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/le-rapport-public-annuel-2009>, 57.
- Selmer, C., 2018. *La Boîte à outils du responsable financier - 3e éd.: 64 outils et méthodes, 3ème ed.* Dunod, ISBN: 978-2-10-078063-1.
- Sénat, 2020. Italie - Les caractéristiques du procès pénal. <https://www.senat.fr/lc/lc25/lc254.html> (dernier accès: septembre 2020).

- Sénat, 2002. Projet de loi constitutionnelle relative à l'organisation décentralisée de la République. In Session ordinaire de 2002-2003, n°24 rectifié, annexe au procès-verbal de la séance du 16 octobre 2002.
- Shah, H.C., 2006. The last mile: earthquake risk mitigation assistance in developing countries. *Philos. Trans. R. Soc. Math. Phys. Eng. Sci.* 364, 2183–2189. <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1821>
- Shewhart, W.A., 1939. *Statistical method from the viewpoint of quality control*, 2è. ed. Dover Publications, INC, New York. ISBN: 0-486-65232-7.
- Shewhart, W.A., 1931. *Economic control of quality of manufactured product*. Macmillan And Co Ltd, London, OCLC: 1045408.
- Shreve, C.M., Kelman, I., 2014. Does mitigation save? Reviewing cost-benefit analyses of disaster risk reduction. *Int. J. Disaster Risk Reduct.* 10, 213–235. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.08.004>
- Silva, A.S., Medeiros, C.F., Vieira, R.K., 2017. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. *J. Clean. Prod.* 150, 324–338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.033>
- So, E., Spence, R., 2013. Estimating shaking-induced casualties and building damage for global earthquake events: a proposed modelling approach. *Bull. Earthq. Eng.* 11, 347–363. <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9373-8>
- Spence, R., 2004. Risk and regulation: can improved government action reduce the impacts of natural disasters? *Build. Res. Inf.* 32, 391–402. <https://doi.org/10.1080/0961321042000221043>
- Spence, R., So, E., Jenny, S., Castella, H., Ewald, M., Booth, E., 2008. The Global Earthquake Vulnerability Estimation System (GEVES): an approach for earthquake risk assessment for insurance applications. *Bull. Earthq. Eng.* 6, 463–483. <https://doi.org/10.1007/s10518-008-9072-7>
- Spence, R., So, E., Scawthorn, C., 2011. *Human casualties in earthquakes: progress in modelling and mitigation*, *Advances in natural and technological hazards research*. Springer Science & Business Media, Dordrecht. ISBN: 978-9048194544.
- Spence, R.J.S., So, E.K.M., 2011. Human casualties in earthquakes: modelling and mitigation, in: *Proceedings of the Ninth Pacific Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand.
- Steinlé-Feuerbach, M.-F., 2018. XYNHTIA : l'introuvable "Faute personnelle". *J. Accid. Catastr. CERDACCJAC* (3992).
- Steinlé-Feuerbach, M.-F., 2013. La responsabilité pénale des collectivités territoriales à l'épreuve des catastrophes naturelles. *Lamy Collectiv. Territ., Perspectives colloque 4ème partie: recherche de responsabilité et causes d'exonération*, 82–85.
- Steinlé-Feuerbach, M.-F., Arbousset, H., 2018. XYNTHIA : le juge administratif prend la suite du juge pénal. *J. Accid. Catastr. CERDACCJAC*.

- Stevenson, J.R., Kachali, H., Whitman, Z., Seville, E., Vargo, J., Wilson, T., 2011. Preliminary observations of the impacts the 22 February Christchurch earthquake had on organisations and the economy: a report from the field (22 February - 22 March 2011). *Bull. N. Z. Soc. Earthq. Eng.* 44(2), 65–76.
- Strina, A., 2016. L'Aquila, le “premier tremblement de terre de l'internet” entre mémoire et médias. Les médias sociaux comme instrument de résilience? *Cah. Sci. ENSOSP, Perspectives* 85–102.
- Stromeyer, D., Grunthal, G., 2009. Attenuation Relationship of Macroseismic Intensities in Central Europe. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 99, 554–565. <https://doi.org/10.1785/0120080011>
- Sutley, E.J., van de Lindt, J.W., Peek, L., 2017. Community-Level Framework for Seismic Resilience. I: Coupling Socioeconomic Characteristics and Engineering Building Systems. *Nat. Hazards Rev.* 18, 04016014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000239](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000239)
- Szeliga, W., Hough, S., Martin, S., Bilham, R., 2010. Intensity, Magnitude, Location, and Attenuation in India for Felt Earthquakes since 1762. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 100, 570–584. <https://doi.org/10.1785/0120080329>
- Tabarly, S., 2010. Mégapoles et risques en milieu urbain. L'exemple d'Istanbul. *Risques Sociétés Géoconfluences*.
- Taché, P., Zimmermann, H., Brisson, G., 2011. Pratiquer l'interdisciplinarité en droit : l'exemple d'une étude empirique sur les services de placement. *Cah. Droit* 52, 519–550. <https://doi.org/10.7202/1006696ar>
- Taisne, J.-J., 2020. *Institutions juridictionnelles*, 17ème. ed, Mémentos. Dalloz, ISBN: 978-2-247-19893-1.
- Tasciyan, D., 2016a. Permis de construire et zone inondable. *Droit immobilier et urbanisme* <https://www.village-justice.com/articles/Permis-construire-zone-inondable,23608.html> (dernier accès: septembre 2020).
- Tasciyan, D., 2016b. Permis de construire et risques naturels. *Droit immobilier et urbanisme* <https://www.village-justice.com/articles/Permis-construire-zone-inondable,23608.html> (dernier accès: septembre 2020).
- Taylor, P.J., 2013. *Extraordinary Cities: Millennia of Moral Syndromes, World-Systems and City/State Relations*. Edward Elgar Publishing, ISBN: 978-1-78195-482-9.
- The Lancet, 2011. Natural disasters—taking a longer term view. *The Lancet* 377, 439. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60141-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60141-4)
- Thierry, P., Zacek, M., Vercellino, G., Martin, R., Bard, P.Y., Mouroux, P., Tartar, C., 1998. *Projet GEMITIS Nice: Analyse de vulnérabilité (bâti courant et bâtiments stratégiques communaux) Mise en place des éléments pour les scénarios de risque. Rapport BRGM R40229*. 558.
- Thouvenot, F., Fréchet, J., Jenatton, L., Gamond, J.-F., 2003. The Belledonne Border Fault: identification of an active seismic strike-slip fault in the western Alps. *Geophys. J. Int.* 155, 174–192. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.2003.02033.x>

- Tichelaar, B.W., Ruff, L.J., 1993. Depth of seismic coupling along subduction zones. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 98, 2017–2037. <https://doi.org/10.1029/92JB02045>
- Tifine, P., 2013. Revue Géographique de l'Est. *Rev. Géographique Est* 53/1–2, 15.
- Tsang, H.-H., Daniell, J.E., Wenzel, F., Wilson, J.L., 2020. A universal approach for evaluating earthquake safety level based on societal fatality risk. *Bull. Earthq. Eng.* 18, 273–296. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00727-9>
- UN-HABITAT, 2012. Resilience <http://unhabitat.org/urban-themes/resilience> (dernier accès: décembre 2018).
- UNISDR, 2015. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Sendai framework for action 2015-2030. Third UN World Conference on Disaster Risk Reduction in Sendai, Japan, on March 18, 2015 <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291> (dernier accès: septembre 2020).
- UNISDR, 2007. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. Hyogo framework for action 2005-2015. World Conference on Disaster Reduction (A/CONF.206/6) in Kobe (Hyogo, Japon), on January 18-22, 2005 <https://www.unisdr.org/we/inform/publications/1037> (dernier accès: septembre 2020).
- UNISDR, 2005. Cadre d'action de Hyogo pour 2005-2015 : Pour des nations et des collectivités résilientes face aux catastrophes, A/CONF.206/6 <https://www.unisdr.org/2005/wcdr/intergover/official-doc/L-docs/Hyogo-framework-for-action-french.pdf>.
- Vale, L.J., 2014. The politics of resilient cities: whose resilience and whose city? *Build. Res. Inf.* 42, 191–201. <https://doi.org/10.1080/09613218.2014.850602>
- Van Lang, A., 2018. Droit de la responsabilité administrative. *Univ. Numér. Jurid. Francoph.* <https://cours.unjf.fr/course/> (dernier accès: septembre 2020).
- Varet, J., Beauducel, F., Barberi, F., 2004. La Gestion du Risque Volcanique en Italie. Mission CSERV. Rapport final du 14-17 octobre 2004. CRDECPR Risques majeurs 3977-D, 54.
- Verrhiest-Leblanc, G., Magagnosc, J.S., 2018. Séisme en Italie. AFPS.
- Veyret, Y., Chocat, B., 2005. Les mégapoles face aux risques et aux catastrophes naturelles. *Jaune Rouge X-Environ. Les mégapoles* (606 juin/juillet), 4.
- Vial, C., 2011. L'influence de la jurisprudence de la Cour européenne des droits de l'Homme : Du devoir des États de protéger la population contre les catastrophes... RISEO 2011 3 Risques études et observations, *Les sciences juridiques à l'épreuve des catastrophes et des accidents collectifs, retour sur 15 ans d'expérience, d'expertise et de réflexion*, 161–172.
- Victor, R., Baskir, G., Bennett, J., Camp, J., Capka, R., Curtis, S., Davids, G., Frevert, L., Hatch, H., Herrmann, A., Hookham, C., Howe, F., Larossi, B., Jacobson, D., Kito, S., Lehman, M., Lynch, O., Matin, S., May, J., McKeehan, B., Merfeld, R., Millar, R., Taylor, P., 2013. Report card for American infrastructure. *Am. Soc. Civ. Eng.*
- Villar, C., David, M., 2014. La résilience, un outil pour les territoires. In *Séminaire IT-GO Rosko* du 22&23 mai 2014.

- Wald, D.J., Earle, P.S., Allen, T.I., Jaiswal, K., Porter, K., Hearne, M., 2008. Development of the US Geological Survey's PAGER system (prompt assessment of global earthquakes for response), in: Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering. Citeseer, Beijing, China, pp. 12–17.
- Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H., Kanamori, H., Scrivner, C.W., Worden, C.B., 1999. TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California. *Earthq. Spectra* 15, 537–555. <https://doi.org/10.1193/1.1586057>
- Waline, J., 2018. Droit administratif, Précis. Dalloz, ISBN: 2247179176.
- Waline, M., 1969. Précis de droit administratif, Manuel. Droit public et administratif. Montchrestien, Paris. ASIN: B0014O1JWE.
- Wen, Y.K., Kang, Y.J., 2001. Minimum Building Life-Cycle Cost Design Criteria. II: Applications. *J. Struct. Eng.* 127, 338–346. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2001\)127:3\(338\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2001)127:3(338))
- Whitehead, J.C., Rose, A.Z., 2009. Estimating environmental benefits of natural hazard mitigation with data transfer: results from a benefit-cost analysis of Federal Emergency Management Agency hazard mitigation grants. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 14, 655–676. <https://doi.org/10.1007/s11027-009-9189-2>
- Wyss, M., Trendafiloski, G., 2011. Trends in the Casualty Ratio of Injured to Fatalities in Earthquakes, in: Spence, R., So, E., Scawthorn, C. (Eds.), *Human Casualties in Earthquakes*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 267–274. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9455-1_18
- Yasseri, S., 2013. The ALARP argument. *FABIG Newsl.* (61), 20.

Liste des données et des ressources

Ce travail de thèse a utilisé les bases de données open-source suivantes :

CATDAT database :

- <https://earthquake-report.com/> (dernier accès : août 2020).

DesInventar database :

- Sendai Framework for Disaster Reduction, United Nations Office for Disaster Risk Reduction -www.desinventar.net/DesInventar/results.jsp (dernier accès: août 2020).

EM-DAT database :

- The Emergency Events Database - Université catholique de Louvain (UCL) -CRED, D. Guha-Sapir -www.emdat.be, Brussels, Belgium, https://www.emdat.be/emdat_db/ (dernier accès: septembre 2020).

European Commission databases :

- Schiavina, Marcello; Freire, Sergio; MacManus, Kytt (2019): GHS population grid multitemporal (1975, 1990, 2000, 2015) R2019A. European Commission, Joint Research Centre (JRC) DOI: 10.2905/42E8BE89-54FF-464E-BE7B-BF9E64DA5218 PID: <http://data.europa.eu/89h/0c6b9751-a71f-4062-830b-43c9f432370f> (dernier accès: septembre 2020).
- Corbane, Christina; Florczyk, Aneta; Pesaresi, Martino; Politis, Panagiotis; Syrris, Vasileios (2018): GHS built-up grid, derived from Landsat, multitemporal (1975-1990-2000-2014), R2018A. European Commission, Joint Research Centre (JRC) DOI: 10.2905/jrc-ghsl-10007 PID: <http://data.europa.eu/89h/jrc-ghsl-10007> (dernier accès: septembre 2020).
- <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/> (dernier accès: septembre 2020).

Eurostat database :

- <https://ec.europa.eu/eurostat/fr/data/browse-statistics-by-theme> (dernier accès: décembre 2019).

GAR database :

- UNISDR 2015 Global Assessment Report (GAR2015): www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2015/en/home/data.php (dernier accès: octobre 2020).

GASPAR database :

- Base nationale de Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques Naturels, www.georisques.gouv.fr/acces-aux-donnees-gaspar (dernier accès: août 2019).

GEM database :

- Global Earthquake Consequences Database; <https://storage.globalquakemodel.org/what/physical-integrated-risk/consequences-database/> (dernier accès: septembre 2020).

GFDRR database :

- Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. <https://www.gfdr.org/post-disaster-needs-assessments>. (dernier accès: septembre 2020).

Global Inventory Database :

- Jaiswal and Wald 2008 : <https://github.com/walshb1/gRIMM/find/UR2018> (dernier accès: septembre 2020).

GSHAP database :

- Global Seismic Hazard Assessment Program, Global Map, <http://static.seismo.ethz.ch/GSHAP/global/> (dernier accès: août 2020).

INE database :

- Instituto Nacional de Estadística : Main series since 1971 by Province – Resident population <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=31304> (dernier accès: décembre 2019).
- Instituto Nacional de Estadística : Series detailed from 2002 by Province – Resident population <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9687&L=1> (dernier accès: décembre 2019).

INGV database :

- Istituti Nazionale di Geofisica e Vulcanologia : Earthquake with magnitude of Mw 6.1 on date 06-04-2009 and time 03:32:40 (Italy) in region 2 km SW L'Aquila (AQ) <http://cnt.rm.ingv.it/en/event/1895389> (dernier accès: septembre 2020).

INSEE database :

- Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques : Historique des populations légales - Recensements de la population 1968-2017 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2522602> (dernier accès: septembre 2020).
- Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques : Population de 1999 à 2020 - Comparaisons régionales et départementales <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2012713> (dernier accès: septembre 2020).
- Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques : Indice annuel des prix à la consommation - Base 2015 - Ensemble des ménages - France – Ensemble <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001764363> (dernier accès: décembre 2019)

ISC database :

- International Registry of Seismograph Stations: www.isc.ac.uk/registries/search/ (dernier accès septembre 2020).

ISTAT database :

- Istituto Nazionale di Statistica – Resident Population : <http://dati.istat.it/Index.aspx?QueryId=18981&lang=en> (dernier accès: décembre 2019).

Munich Reinsurance database :

- <https://www.munichre.com/en/solutions/for-industry-clients/natcatservice.html> (dernier accès: janvier 2019)

NGDCDatabase :

- National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Significant Earthquake Database. National Geophysical Data Center, NOAA, www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=1&d=1 (dernier accès: septembre 2020).

SisFrance database :

- Sismicité de la France (SisFrance): www.sisfrance.net (dernier accès: octobre 2020).

Statbel database :

- Direction général statistique belge : Population par lieu de résidence (province), sexe, position dans le ménage (C), état civil et âge (B) <https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=0f14f470-9a59-4011-ac98-92ebe2df31ff> (dernier accès:décembre 2019).

United Nations (UN) databases :

- Population Division. Department of Economic and Social Affairs Population Dynamics. World Urbanization Prospects : The 2018 Revision. <https://population.un.org/wup/Download/> (dernier accès:septembre 2020)

U.S. Census Bureau databases :

- Characteristics of New Housing, www.census.gov/construction/chars/ (dernier accès: décembre 2019).
- National Population Totals and Components of Change: 2010-2017, www.census.gov/data/datasets/2017/demo/popest/nation-total.html#tables (dernier accès: décembre 2019).
- State Intercensal Tables: 1900-1990, www.census.gov/data/tables/time-series/demo/popest/pre-1980-state.html (dernier accès: décembre 2019).
- State and County Intercensal Tables: 1990-2000, www.census.gov/data/tables/time-series/demo/popest/intercensal-1990-2000-state-and-county-totals.html (dernier accès: décembre 2019).

- State Intercensal Tables: 2000-2010, www.census.gov/data/tables/time-series/demo/popest/intercensal-2000-2010-state.html (dernier accès: décembre 2019).

U.S. Department of Labor database:

- Consumer Price Index, www.dir.ca.gov/OPRL/CPI/CPIHistDataSeries.xls (dernier accès: décembre 2019).

U.S. Geological Survey (USGS) databases :

- ShakeMap database: Worden, C.B. and D.J. Wald (2016). ShakeMap Manual Online: technical manual, user's guide, and software guide, U. S. Geological Survey, <https://earthquake.usgs.gov/data/shakemap/> (dernier accès: octobre 2020).
- Global slope-based Vs30 database: <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/> (dernier accès: octobre 2020).
- Prompt assessment of global earthquakes for response PAGER system. <http://earthquake.usgs.gov/data/pager/>. (dernier accès: octobre 2020).

WorldBank databases :

- World Development Indicators: Population, total: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL> (dernier accès: août 2020).
- World Development Indicators: GDP (current US\$): <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (dernier accès: août 2020).
- World Development Indicators: GDP (constant 2010 US\$): <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD> (dernier accès: août 2020).

World Trade Organization database :

- https://www.wto.org/english/thewto_e/whatis_e/tif_e/fact4_e.htm (dernier accès: décembre 2019).

Liste des textes légaux

Loi

Loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

Loi des 16-24 août 1790 sur l'organisation judiciaire

Loi n°82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes

Loi n°82-610 du 15 juillet 1982 d'orientation et de programmation pour la recherche et le développement technologique de la France

Loi n°83-8 du 7 janvier 1983 relative à la répartition de compétences entre les communes, les départements, les régions et l'Etat *Loi Defferre*

Loi n°87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs

Loi n°92-125 du 6 février 1992 relative à l'administration territoriale de la République

Loi n°95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement

Loi n°96-393 du 13 mai 1996 relative à la responsabilité pénale pour des faits d'imprudence ou de négligence

Loi n°2000-647 du 10 juillet 2000 tendant à préciser la définition des délits non intentionnels

Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages

Loi n°2004-811 du 13 août 2004 : relative à la modernisation de la sécurité civile

Loi constitutionnelle n°2005-205 du 1er mars 2005 relative à la Charte de l'environnement

Loi organique n°2001-692 du 1^{er} août 2001 relative aux lois finances

Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement

Loi n°2012-1460 du 27 décembre 2012 relative à la différenciation du principe d'information et du principe de participation du public

Loi n°2014-58 du 27 janvier 2014 relative à la modernisation de l'action publique territoriale et d'affirmation des métropoles

Projet Loi de Finance, n°2016-2017 relatif à la protection de l'environnement et la prévention des risques

Loi italienne

Loi n°996/1970 du 8 décembre 1970 relative à la réponse d'urgence de la Protection Civile

Loi n°404/01 du 17 février 1982 relative aux compétences de la Protection Civile

Loi italienne n°225 du 24 février 1992 relative à la gestion de crise (création d'un service national de la Défense Civile, création de la CGR, spécification des compétences)

Loi n°150/00 du 7 juin 2000 relative à la discipline des activités d'information et de communication des administrations publiques

Loi n°21/06 du 3 avril 2006 relative à la réglementation de la composition et des modalités de fonctionnement de la Commission nationale de la prévision et de la prévention des risques majeurs

Directive

Directive n° 2007/60/CE du 23 octobre 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation

Décret

Décret n°2005-1157 du 13 septembre 2005 relatif au plan ORSEC

Décret n°2005-1156 du 13 septembre 2005 relatif au plan communal de sauvegarde

Décret n°2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique

Décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français

Arrêté

Arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs pour les ICPE

Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des ICPE soumises à autorisation

Arrêté du 10 septembre 2007 relatif aux attestations de prise en compte des règles de construction parasismique ;

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et règle de construction parasismique

Code

Code des Assurances

Code Civil

Code de la Construction et de l'Habitation

Code de l'Environnement

Code Général des Collectivités Territoriales

Code Pénal

Code de Procédure Civile

Code de la Sécurité Intérieure

Code de l'Urbanisme

Divers

Convention de Sauvegarde des Droits de l'Homme et des Libertés Fondamentales adoptée par le Conseil de l'Europe en 1950

Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées (ICPE) en application de la loi du 30 juillet 2003

ANNEXES

GUIDE D'ENTRETIENS ELUS

Date de l'entretien : Durée : Numéro de l'entretien :
Fonction : Département/Commune :

1. Intégration du risque sismique

- 1.1. Comment intégrez-vous le risque sismique dans votre politique ? (Modèle de développement, outils, dispositif, niveau). Comment le percevez-vous et le ressentez-vous ? Avez-vous besoin de plus de connaissances (support, comment...) ?
- 1.2. Vis-à-vis du bâti existant, connaissez-vous les conséquences qu'aurait un séisme sur votre commune ? Quels sont vos choix politiques spécifique au séisme ? (Une ville plus sûre ou un retour plus rapide, les enjeux). Qu'est ce qui contraint vos choix ?
- 1.3. Depuis la nouvelle réglementation appliquée par les décrets du 22 Octobre 2010, quels sont les changements, s'il y en a eu, dans l'intégration du risque sismique sur votre commune ?

2. Mise en place de la réglementation parasismique

- 2.1. Que pensez-vous de la réglementation parasismique mise en application par les décrets de 2010 ? Quelles sont les initiatives d'action ? Comment les gérez ou les intégrez-vous dans votre politique d'urbanisme ? (Plan d'investissement ou de mise en œuvre, les critères, la stratégie, le coût éventuel selon les études faites, outils contraignants ou d'amélioration...). Quel est votre ressenti ?

3. Décision

- 3.1. Quels sont les facteurs qui influencent vos décisions dans la gestion du risque sismique (économie, budget, société, santé publique, fonctionnalité des services, patrimoine, responsabilité) ? Sur quoi vous appuyez-vous pour intégrer le risque sismique dans vos modèles de décisions ? (Représentation sismique, étude spécifique, autre motivation...).

4. Responsabilités

- 4.1. Quel est votre ressenti sur votre responsabilité en tant qu'élu concernant la gestion du risque sismique ? Connaissez-vous vos responsabilités et les sanctions auxquelles vous êtes soumis dans la prise en compte ou pas du risque sismique ? (La plus importante, conséquence).

5. Retour d'expérience

- 5.1. Avez-vous déjà été confronté à un problème sismique (permis parasismique, projets non réalisés dus à la réglementation parasismique) ? Avez-vous déjà été confronté à un cas de jurisprudence due à une catastrophe naturelle ?
- 5.2. Quel est votre ressenti face au risque sismique et à cette réglementation parasismique ? (Amélioration, retour d'expérience, efficacité, conséquences, répercussions, démuni, manque d'information, d'outil...).

GUIDE D'ENTRETIENS TECHNICIENS

Date de l'entretien : Durée : Numéro de l'entretien :
Fonction : Département/Commune :

1. Intégration du risque sismique

- 1.1. Comment percevez-vous le risque sismique ? Comment vous le représentez-vous ? Vous manque-t-il des connaissances ? Quel support voudriez-vous avoir pour un plus de connaissance ?

- 1.2. Quelle est la prise en compte de l'aléa sismique dans vos actions ? (Critères, mécanisme, outil, dispositif). Connaissez-vous les conséquences qu'aurait un séisme sur votre commune ? Comment le gérez-vous ? Préférez-vous privilégier un retour plus rapide ou une ville plus sûre ?

2. Mise en place de la réglementation parasismique

- 2.1. Que pensez-vous de la réglementation parasismique mise en place par les décrets du 22 octobre 2010 ? Quel est votre ressenti ? Quelles sont vos initiatives d'actions ? Comment gérez-vous cette mise en place dans votre urbanisation ? Comment mettez-vous en œuvre la réglementation parasismique ? Sur quels critères ? (Outils d'amélioration et de contrainte). Quels sont les problèmes auxquels vous êtes confronté ?

- 2.2. A combien estimez-vous, le coût de cette loi sur le plan de l'Investissement et le plan du fonctionnement ?

3. Suivi de la mise en place de la réglementation parasismique

- 3.1. A quel contrôle technique avez-vous été soumis lors de la mise en place de la réglementation parasismique ?

4. Décisions

- 4.1. Quelles sont les variables décisionnelles sur lesquelles vous vous appuyez pour convaincre les élus ? Sur quoi vous appuyez-vous pour intégrer le risque sismique dans vos modèles de décision ? (Représentation du risque sismique, étude spécifique, d'autres motivations... ?

5. Responsabilités

- 5.1. Connaissez-vous les sanctions auxquelles vous êtes soumis en cas de non-respect de la prise en compte du risque sismique ?
- 5.2. Pouvez-vous me donner votre point de vue sur votre responsabilité en tant que technicien concernant la gestion du risque sismique en référence à la réglementation ?

6. Retour d'expérience

- 6.1. Avez-vous déjà été confronté à un cas de jurisprudence due à une catastrophe naturelle ?
- 6.2. Quel est votre ressenti face au risque sismique et à cette réglementation parasismique ? Vous sentez-vous démuni ? Savez-vous vers qui vous tourner ? (Conséquence, retour d'expérience, amélioration, efficacité, répercussion...).

GUIDE D'ENTRETIENS SECOURS

Date de l'entretien :

Durée :

Numéro de l'entretien :

Fonction :

Département/Commune :

1. Intégration du risque sismique

1.1. Quelle est et comment est votre communication sur le risque sismique ? Auprès de qui ? Comment vous le représentez-vous ? Avez-vous des dispositifs et outils de simulation en amont pour être plus efficace lors de la crise ? Vous manque-t-il des connaissances ? Quel support voudriez-vous avoir pour un plus de connaissance ?

1.2. Avec quels acteurs publics et associatifs travaillez-vous sur ce sujet à priori et à posteriori ? Est-ce que la réglementation parasismique de 2010 et le plan séisme mis en vigueur, ont-ils modifié vos actions ?

2. Responsabilités

2.1. Connaissez-vous vos responsabilités et les sanctions auxquelles vous êtes soumis dans l'exercice de vos fonctions et la prise de décision de vos actions ?

3. Retour d'expérience

1.1. Avez-vous déjà été confronté à une situation de crise due à un risque sismique ou un risque naturel ? Quels sont les problèmes majeurs et les contraintes auxquels vous êtes confronté s'il y a un séisme ? Quel est votre ressenti ?

GUIDE D'ENTRETIENS ASSUREURS

Date de l'entretien : Durée : Numéro de l'entretien :
Fonction : Département/Commune :

1. Le risque sismique dans le régime CAT NAT

- 1.1. Le régime CAT NAT et le fond Barnier permettent d'indemniser en cas de catastrophe naturelle dont les séismes. Ce régime incite à mettre en place des actions spécifiques dans la prévention des risques. Quelles sont-elles ? Comme les appliquez-vous ?

2. Le rôle de l'assureur

- 2.1. Un des rôles des assureurs face au risque sismique est de faire de la prévention. Comment le mettez-vous en œuvre ? (Pourcentage de vos activités).

3. Le ressenti

- 3.1. Quel est votre ressenti sur le régime CAT NAT ? Quels sont les défauts du régime CAT NAT ? Peut-il être amélioré ? Par quels moyens ?
- 3.2. Vous manque-t-il des connaissances sur le risque sismique ? Si oui, sur quoi voudriez-vous être plus compétent ? Selon vous, quel support serait le plus adapté pour augmenter vos connaissances ?

GUIDE D'ENTRETIENS JURISTES

Date de l'entretien : Durée : Numéro de l'entretien :
Fonction : Département/Commune :

1. Mise en place de la réglementation parasismique

1.1. La réglementation parasismique est applicable depuis les décrets du 22 octobre 2010. Il y a des obligations et des contraintes à suivre. Mais sur quels points les élus peuvent avoir une part d'interprétation subjective dans la mise en place de cette réglementation ?

2. Cas d'affaire

2.1. Le mise aux normes parasismiques des bâtiments publics implique un surcoût, avez-vous déjà eu des cas d'affaire mettant en avant ce surcout pour les communes ou les communautés de commune ?

2.2. Avez-vous déjà eu des cas d'affaire mettant en cause la responsabilité encourue par un élu face à un risque sismique ? un risque naturel ? des constructions parasismiques ?

3. Responsabilités

3.1. Quels sont les risques encourus et pour qui si la loi n'est pas appliquée en totalité ? Les élus peuvent-ils être reconnus coupables entièrement suite à un séisme ?

3.2. Que se passerait-il si un maire renforce un bâtiment sans être conforme à la réglementation parasismique ? Quelles seraient les responsabilités et les poursuites ?

3.3. Suite au changement du zonage sismique dans l'Ouest de la France annoncé dans le décret du 22 octobre 2010, avez-vous connaissance de répercussions d'un point de vue des responsabilités, des initiatives... ?

4. Affaire Xynthia

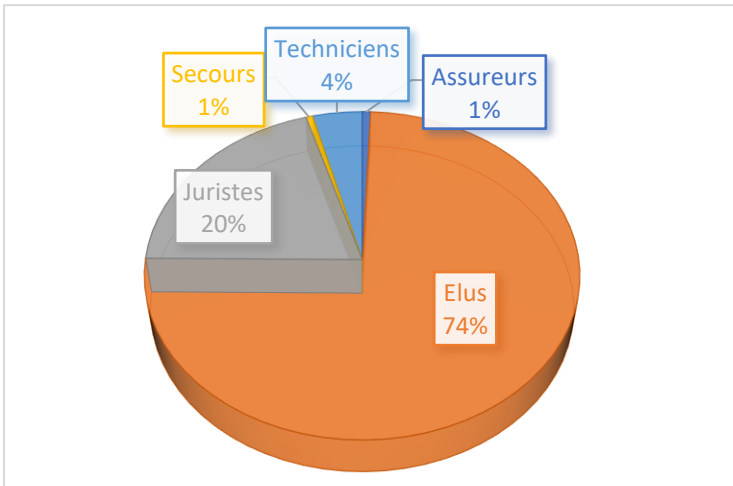
- 4.1. La tempête Xynthia a eu lieu en 2010 faisant 29 morts et a été jugé en 2014. Le Tribunal Correctionnel des Sables en 2014 a retenu la responsabilité pour faute du maire et sans faute des services de l'Etat. Que pensez-vous de cette affaire et de ces responsabilités ?

5. Améliorations

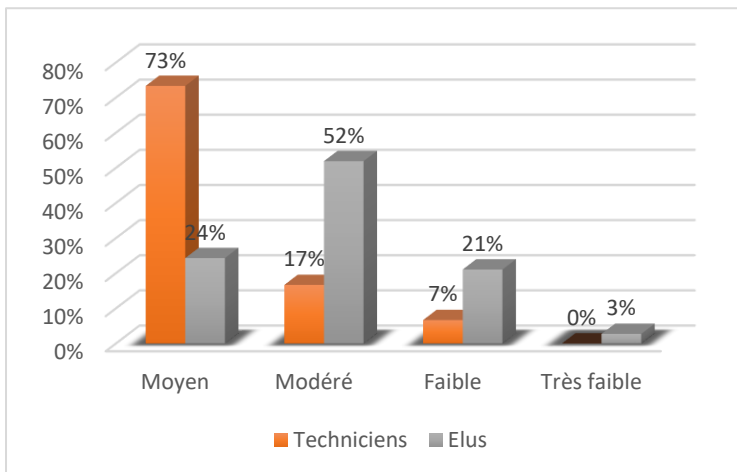
- 5.1. Quel est votre point de vue sur la réglementation parasismique ?
(Les défauts, les améliorations)

Résultats des enquêtes : taux d'envois et de réponse par catégorie

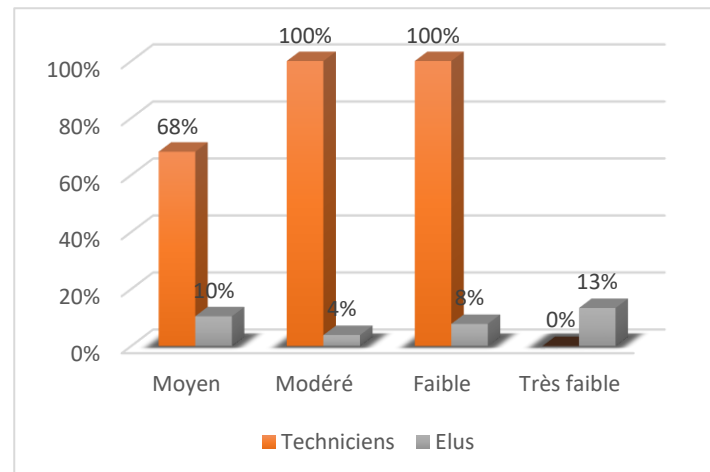
- Distribution des personnes interrogées



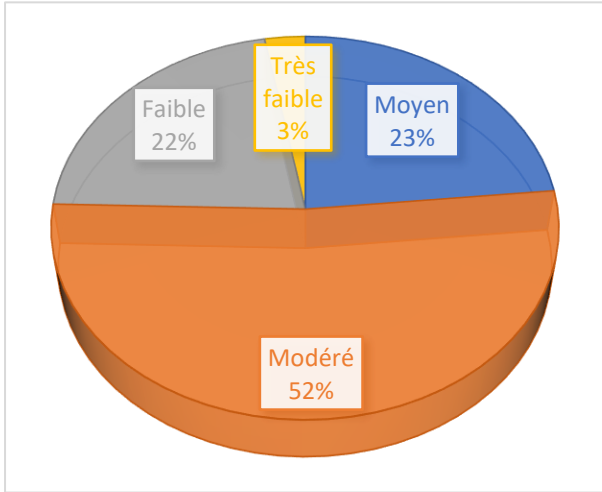
- Envoi par niveau de sismicité



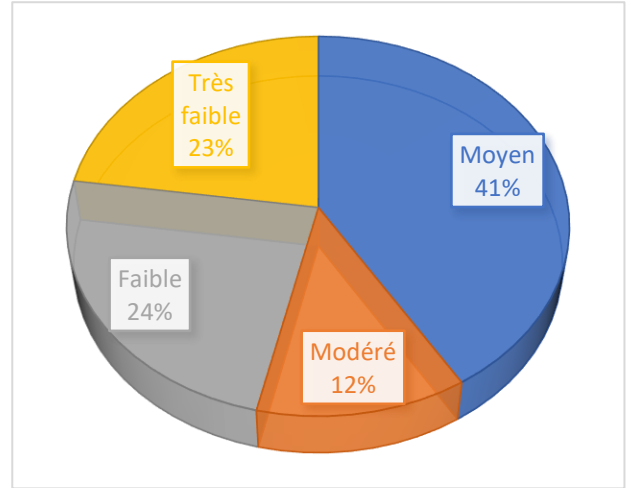
- Réponse par niveau de sismicité



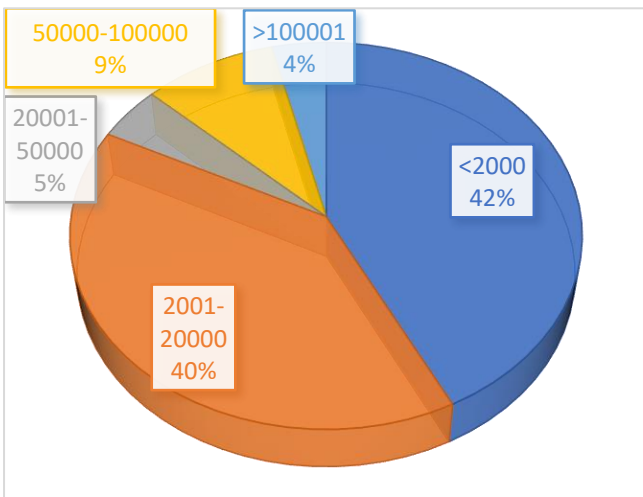
- Répartition des communes par niveau sismique



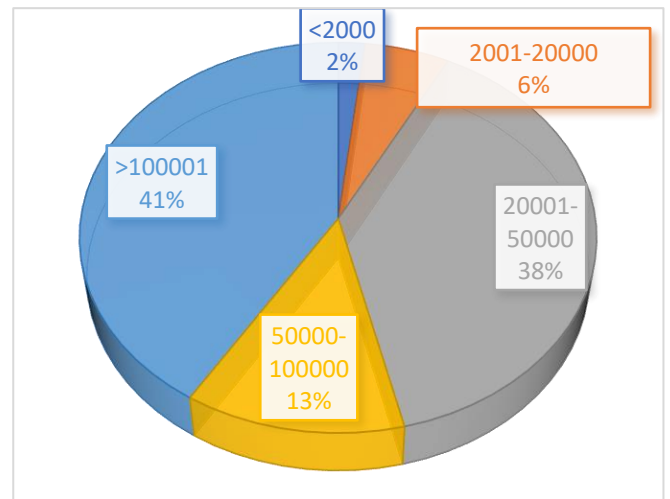
- Répartition des réponses des communes par niveau sismique



- Répartition des envois par taille de communes (habitants)



- Répartition des réponses par taille de communes (habitants)



ANNEXE II Jurisprudences relatives aux risques naturels (hors cas de force majeure) : appréciation de décision

A. Jurisprudences utilisées

Cas de jurisprudence	Fait générateur	Dommages/ Préjudices	Appréciation du juge
CE 23 nov. 1966, Houillère du bassin des Cévennes, n°65400,	Eboulement sur route nationale		Responsabilité de la commune et de l'Etat pour moitié en raison d'une faute commise pour insuffisance d'entretien des moyens de protection par les services de l'Etat.
CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879	Avalanche	Destruction de bâtiment avec précédents historiques.	Responsabilité de la commune reconnue pour 70% due à une défaillance dans la délivrance de permis sans prescriptions spéciale dans une zone soumise au risque d'avalanche, et pour l'absence d'usage des pouvoirs de police du maire (L. 2212-2 du CGCT). La responsabilité de l'Etat est pareillement retenue considérant l'approbation de la ZAC (Priest, 2005).
TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014.	Tempête Xynthia	Des dizaines de victimes et destruction bâtiments.	Autorisation de construire accordées dans des zones exposées aux inondations concernant Xynthia. Homicide involontaire (221-6 du Code pénal) ; mise en danger délibérée de la vie d'autrui (223-1 du Code pénal) ; abstention de combattre un sinistre (223-7 du Code pénal) et prise illégale d'intérêts (432-12 du Code pénal). Négligence dans la mise en place du PPR. Absence de mise en place de solutions de protection en connaissance du risque.
CA Grenoble, 5 août 1992, n°21959 ; T. corr. Bonneville, 17 juillet 2003, n°654-2003	Avalanche		Responsabilité de la commune : absence de mesures de polices préventive.
CEDH 28 nov. 2006, S. Murillo Saldias et autres c/Espagne, n° 76973/01	Pluies diluviennes	Camping de Biescas (Pyrénées espagnoles), dévasté. Des dizaines de victimes et de blessés.	Manquement de l'Etat espagnol à son obligation positive d'adopter des mesures préventives appropriées pour protéger la vie des personnes.

<p>CEDH 22 mars 2008, Boudaïeva et autres c. Russie, n°15339/02, 21166/02, 11673/02 et 15343/02</p>	<p>Pluies torrentielles</p>	<p>Ville de Tirnaouz (Russie) dévastée par des coulées de boues provoquées par la rupture d'un barrage et causant des dizaines de victimes et des destructions d'habitations.</p>	<p>Insuffisance des mesures d'information et d'alerte précoce et de moyens de prévention expertisés.</p>
<p>CEDH, 28 févr. 2012, Kolyadenko et autres c/Russie, n°17423/05</p>	<p>Inondation</p>	<p>Inondation causée par l'ouverture du réservoir afin de déverser une partie importante d'eau dans la rivière provoquant des dommages. Destruction des habitations.</p>	<p>Manquement et négligence des autorités municipales pour d'une part, l'absence d'information et d'alerte de la population installée en zone inondable, les mettant en danger, et d'autre part, la responsabilité des autorités régionales et municipales pour absence de mise en œuvre de mesures de protection, défaut d'entretien de la rivière et faute dans l'application des restrictions en matière d'urbanisme.</p> <p>Responsabilité de l'Etat russe pour infraction aux articles 2 et 8 respectivement relatif au droit à la vie et au droit au respect du domicile et pour violation de l'article 1 du 1^{er} Protocol additionnel, relatif à la protection, la propriété et le droit au respect des biens.</p>
<p>CEDH, 17 nov. 2015, Özel et autres c/ Turquie, n°14350/05, 15245/05 et 16051/05</p>	<p>Séisme</p>	<p>Des immeubles de la ville de Cinarcik se sont effondrés sur les habitants causant plusieurs morts et blessés.</p>	<p>Insuffisance administrative, absence de contrôle de conformité de la mise en place des règles parasismiques, absence d'enquête judiciaire à la suite du préjudice. Négligence dans la mise en œuvre du plan d'urbanisme adéquat.</p>
<p>CAA Nantes, 1^{er} déc. 2009, MEDD c/ Assoc Halte aux marées vertes</p>	<p>Algues vertes</p>	<p>Pollution du littoral par des algues vertes</p>	<p>Double carence fautive de l'Etat : d'un manquement à son exercice de police concernant des installations classés pour la protection de l'environnement et d'une inaction dans la transposition tardive de la directive européenne « nitrates » de 1991.</p>
<p>CE, 10 juil. 1953, Sieur Dumulin c/Cne de Breguier-Cordon</p>	<p>Effondrement rocheux</p>	<p>Destruction d'une maison</p>	<p>Le maire n'a pas pris des mesures préventives pour éviter cette situation, le Conseil d'Etat n'engage pas la responsabilité du maire pour faute lourde car « l'existence d'un péril grave et imminent d'éboulement n'apparaissait pas avec évidence ».</p>
<p>CAA de Bordeaux, 27 mars 2003, M. X... C/Maire de Cne de Camous, n°99BX007764</p>	<p>Eboulement rocheux</p>		<p>La Cour administrative d'appel de Bordeaux réitère la décision concernant l'obligation de mise en place de moyens de protection en jugeant indispensable de prendre des mesures contre un éboulement rocheux d'une falaise présentant des déformations importantes.</p>
<p>CE, 14 mars 1986, Cne de Val-d'Isère, n°96272, 99725 ; CAA Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues</p>	<p>Avalanches</p>	<p>Dommages physiques et économiques.</p>	<p>La Cour d'Etat et la Cour administrative se sont exprimées sur les mesures de police générale concernant les mesures de protection de réalisation d'ouvrage de défense contre les avalanches.</p>

CAA, 1 ^{er} févr. 1995, Cne de La Grave, n°93LY00483	Avalanches		La Cour administrative concernant le cas de la Commune de La Grave a retenu la responsabilité administrative pour faute lourde en identifiant une carence d'information sur le risque avalanche.
CE, 11 avr. 1975, Dpt de Haute Savoie c/Dame Tixier et M. Nicolle, n°84-846			Le maire doit prendre « les mesures nécessaires » d'affichage des risques afin d'assurer « une signalisation appropriée ».
CAA Bordeaux, 3 févr. 2005, M et Mme Bernard X, n°01BX00069 ; CE, Ass. « Ski Alpin Murois, 16 juin 1989, n°59616	Eboulement	Sur un versant montagneux	Pas de condamnation du fait de travaux de préservation contre les avalanches
CE, 14 mars 1986, Cne de Val d'Isère c/Dame Bosvy, n°20670.	Avalanche	Dommages sur un chalet de Val d'Isère	Le Conseil d'Etat remonte à 1917 pour comparer le phénomène destructeur de 1970 à un autre évènement similaire (mémoire de la frise chronologique des phénomènes naturels).
CAA de Lyon, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879, à propos d'une avalanche	Avalanche	Destructions des constructions	L'inaction de la commune est une faute dans le cas où elle autorise des constructions nouvelles dans une zone où il existe des documents d'informations montrant la connaissance et l'étendue du risque sans réalisation d'étude approfondie.
CAA de Marseille, 13 mai 2008, SCI Brancas, n°05MA01437	PPRN		La Cour administrative a engagé la responsabilité de l'Etat du au retard à adopter un PPRN.
CE, 11 avril 2008, SCI Moulin du Roc, n°288528	Inondation		la protection de la sécurité publique [...] ne suffit pas à exclure l'engagement de la responsabilité sans faute de l'autorité de police
CAA de Lyon, 27 décembre 2001, Epoux Druliolle et SCI Les Deux Glaciers c/ Etat et SIVOM de Chamonix Les Houches, n°95LY01357	Avalanche		La Cour administrative d'appel retient la responsabilité de l'administration en mettant en évidence l'existence de lien de causalité entre l'existence de l'ouvrage public et le dommage subi
TGI de Bonneville, 17 juil. 2003, n°654-2003, à propos de l'avalanche sur Montroc	Avalanche	Décès de douze personnes	Le maire a failli à son devoir de police général , à un manquement d'information, de mise en place de plan d'évacuation alors même que le risque avalanche considéré comme exceptionnel par les experts était connu . Cette faute caractérisée met en péril autrui face à un risque d'une intensité extraordinaire, impossible à ignorer. Par sa carence dans la prise de décision à mettre en place des mesures de sécurité envers ses administrés, le maire de Chamonix a été reconnu responsable du aux motifs que le risque d'avalanche était particulièrement connu de tous et spécialement du maire. Celui-ci, et compte tenu du risque, n'a pas su prendre la seule mesure adéquate, à savoir, l'évacuation.
CA de Grenoble, 5 août 1992, n°21959	Déclenchement d'avalanche	Victimes	La Cour d'appel retient la responsabilité pénale du maire pour homicide involontaire à propos d'un déclenchement d'avalanche. Négligence par absence de mise en place de moyens de prévention alors que les conditions météorologiques auraient dû l'amener à une décision protectrice (faute d'omission).

T. L'Aquila, Italie, 22 oct. 2012, n°380/2012	Séisme	Des centaines de victimes et des destructions d'habitations et de bâtiments	Faute de négligence et d'imprudence, défaut d'évaluation du risque sismique, défaut d'informations/d'avertissement auprès de la population et collaboration négligente entre scientifiques et personnes d'autorité publique.
--	--------	---	--

B. Jurisprudences mentionnées dans le manuscrit

Conseil d'Etat

CE, 28 juin 1895, Rec. P.509, concl. Romieu relatif à l'engagement de la responsabilité administrative sans faute

CE, 3 févr. 1911, Anguet, Rec. p. 146, S. 1911, 3, p. 137, note Hauriou relatif au principe du cumul des fautes

CE, 26 juil. 1918, Epx Lemonnier, Rec. p. 761, concl. Blum : relatif au cumul des responsabilités

CE Ass., 21 mars 1947, Dame vve Aubry, Rec. p. 122 relatif à la définition d'application de la date du dommage

CE S., 11 mai 1951, Dame Pierret, Rec. p. 259 relatif à la validité et l'opposabilité de l'acte administratif suite à une opération de police

CE, 29 févr. 1952, Delle Servel, Rec. p. 147 relatif à la validité et l'opposabilité de l'acte administratif suite à un incendie

CE, 10 juil. 1953, Sieur Dumulin c/Cne de Breguier-Cordon relatif à un effondrement rocheux

CE, 23 nov. 1966, Houillère du bassin des Cévennes, n°65400 relatif aux éboulements rocheux

CE, 21 janv. 1970, n° 75626, Sté générale d'entreprise toulousaine relatif à la définition de la faute personnelle non dépourvue de tout lien avec le service

CE, 28 mai 1971, Département du Var c/ Ent. Bec frères, Rec. p. 419 relatif à une rupture d'un barrage et au risque rocheux

CE, 11 avr. 1975, Dpt de Haute Savoie c/Dame Tixier et M. Nicolle, n°84-846 relatif à l'avalanche

CE, 27 juil. 1979, Sieur Blanc c/ Ministre de l'Equipement, n°06-875 relatif au PPRN

CE, 25 oct. 1985, M. Poinsignon, n°39288 relatif au déclenchement d'avalanches touchant des terrains classés en zone constructible

CE, 14 mars 1986, Cne de Val-d'Isère, n°96272, 99725 relatif à l'avalanche

CE, 14 mars 1986, Cne de Val d'Isère c/Dame Bosvy, n°20670 relatif à l'avalanche

CE, 22 juin 1987, Ville de Rennes c/ Compagnie rennaise de linoléum et du caoutchouc, n°62-559, REC. CE, p. 223 relatifs aux crues

CE, 16 juin 1989, Ass. « Ski Alpin Murois » c/Etat et Cne de la Morte, n°59-616 relatif aux travaux de préservation contre les avalanches

CE, 25 mai 1990, Abadie, Rec. p. 1026 relatif à l'inondation

CE, 29 avr. 1998, Cne de Hannapes, Rec. P.185 : relatif à l'organisation et le fonctionnement du service de lutte contre l'incendie

CE, 7 avr. 1999, Association « Vivre et rester au pays », n°189-263 relatif à l'expropriation des biens exposé aux risques naturels

CE, 3 mars 2004, Assemblée, n°241150 et suivants relatif à l'amiante

CE, S. Avis 4 juin 2007, Lagier et cts Guignon, n°303422, Rec. 228 relatif à la classification globale du préjudice

CE, 11 avr. 2008, SCI Moulin du Roc, n°288528 relatif à l'inondation

CE, 3 oct. 2008, Cne. d'Annecy, n° 297931 relatif à la méconnaissance de la Charte de l'environnement de 2005

CE, 30 déc. 2015, Cne. de Roquebrune-sur-Argens, n°391798 ; 391800 relatif à la protection fonctionnelle d'un maire

CE, 15 février 2016, req., n° 389103 relatif à l'inondation

CE, 15 nov. 2017, Sté Swisslife Assurances de biens et a., n° 403367 relatif à la tempête marine

Tribunal Administratif et Cour Administrative d'Appel

Tribunal Administratif

TA Grenoble, 13 mars 2014, req. n°1104684 relatif à un manquement de contrôle sismique

TA Nantes, 24 déc. 2017, req. n°1504946 relatif à la tempête Xynthia

Cour Administrative d'Appel

CAA Lyon, 1^{er} févr. 1990, Consorts Pressigout, n°89LY00098 relatif à l'avalanche

CAA Lyon, 17 oct. 1990, M. et Mme Y... X..., n°89LY00768 relatif à l'appréciation du préjudice

ANNEXE II

CAA Bordeaux, 27 déc. 1993, Epoux Goutereau, Epoux Pauzes et Dame Olive c/ Etat et Cne de Porte-Puymorens, n°91BX00685 relatif à l'avalanche

CAA de Bordeaux, 1 août 1994, Sieur Bedat c/ Cne de Borce, n°93BX00418 relatif au glissement de terrain

CAA Lyon, 1^{er} févr. 1995, Cne de La Grave, n°93LY00483 relatif à l'avalanche

CAA Bordeaux, 8 févr. 1996, Cne de Fourques, n°95BX00049 relatif à la réalisation de la construction à proximité d'une zone touchée par une inondation

CAA Lyon, 13 mai 1997, Sieur Balusson et autres, n°94LY00923/94LY01204 relatif à la crue torrentielle

CAA Lyon, 13 juin 1997, Cne du Grand-Bornand, n°94LY00923, 94LY01204 relatif à la crue torrentielle

CAA Lyon, 8 juil. 1997, n°094LY01260, Société Valente et La Selva c/ Etat. Relatif à l'occupation des sols

CAA Lyon, 27 déc. 2001, Epoux Druliolle et SCI Les Deux Glaciers c/ Etat et SIVOM de Chamonix Les Houches, n°95LY01357 relatif à l'avalanche

CAA Bordeaux, 27 mars 2003, M. X... C/Maire de Cne de Camous, n°99BX007764 relatif à l'éboulement rocheux

CAA Toulouse, 29 avr. 2004, Axa France, n°02-20320 relatif à l'indemnisation des risques naturels

CAA, 15 juin 2004, Cne des Allues, n°02LY01879 relatif à l'avalanche

CAA Bordeaux, 3 févr. 2005, M et Mme Bernard X, n°01BX00069 relatif à un éboulement rocheux sur un versant montagneux

CAA d'Agen, 14 juin 2007, Mme X., n°06-15319 relatif à l'indemnisation des risques naturels

CAA Marseille, 13 mai 2008, SCI Brancas, n°05MA01437 relatif au PPRN

CAA Nantes, 1^{er} déc. 2009, MEDD c/ Assoc Halte aux marées vertes, AJDA 2009, p. 934 relatif à la pollution du littoral par des algues vertes

CAA Douai, 23 janv. 2014, req. n° 12DA01201 relatif à l'inondation

CAA Nantes, 12 juin 2015, req. n°14NT00977 relatif à l'inondation

CAA Nantes, 19 juil. 2019, n°18NT01529 relatif à la tempête Xynthia

CAA Nantes, 10 déc. 2019, n°18NT01531 ; 18NT01546 ; 18NT01620 ; 18NT01621 ; 18NT01642 relatif à la tempête Xynthia

Tribunal des Conflits

TC, 8 févr. 1873, Blanco, Rec. CE 1873, p. 61, concl. David

TC, 30 juil. 1873, Pelletier, Rec. p. 117, concl. David

TC, 5 mai 1877, Laumonnier-Carol, D. 1878, 3, p. 13, concl. Laferrière

TC, 13 févr. 1984, n° 2.320, Bousmaha, Petites affiches 26 nov. 1984, p. 5, concl. Labetoulle

Cour de Cassation et autres juridictions de l'ordre judiciaire

Tribunal de Grande Instance

TGI Bonneville, 17 juil. 2003, n°654-2003, relatif à l'avalanche sur Montroc

TGI Strasbourg, 27 mars 2007, n°2007-331762 relatif à la tempête

TGI Albertville, ch. Corr., 24 nov. 2008, n°1367-08 relatif à des remontées mécaniques

TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014 relatif à la tempête Xynthia

Tribunal Pénal italien

T. L'Aquila, Italie, 22 oct. 2012, n°380/2012 relatif au séisme de L'Aquila

T. L'Aquila, Italie, 22 oct. 2012, n°253/10 R.G.N relatif au séisme de L'Aquila

Cour de cassation

Cass. crim, 20 mai 1949, Bull. crim. n°184 ; D. 1949, p. 333 (1re espèce)

Cass. crim, 10 févr. 1960, Bull. crim., n° 79

Cass. crim, 12 déc. 1962, Bull. crim., n° 371

Cass. crim, 8 juil. 1971, Bull. crim., n° 222 ; D. 1971, p. 625, note Robert E.

Cass. crim, 8 mai 1974, Bull. crim., n° 165 ; Gaz. Pal. 1974. 2. 560

Cass Crim, 13 févr. 1992, n°88-87.154

Cass. crim., 11 oct. 1993, n° 92-86.131, Bull. crim., n° 282 ; Rev. sc. crim. 1994, p. 321, obs. Bouloc

Cass. crim., 9 nov. 1999, n°98-87.432 ; Cass. crim., 18 déc. 1990, n°90-86.304

Cass. Crim. 14 mars 2000, Mme Misson, n°99-82871 relatif à l'avalanche

Cass. crim, 14 mars 2000, bull crim n°114, n°01-88.275

Cass. Crim. 2 déc. 2008, Mme Carmelita X. et autres, n°08-80066 relatif au mouvement de terrain

Cass. Crim., 14 avr. 2015, n° 14-85335

Cour d'Appel

CA Grenoble, 5 août 1992, n°21959 relatif à l'avalanche

CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013 relatif au séisme de L'Aquila

CA Poitiers, 12 déc. 2014, req. n°877/2014 relatif à la tempête Xynthia

CA Poitiers, 4 avr. 2016, n° 16/00199 relatif à la tempête Xynthia

Conseil Constitutionnel

Cons. const., 23 janv. 1987, n° 86-224 DC, GAJA

Cons. Const., 19 juin 2008, n° 2008-564

Cour Européenne des Droits de l'Homme

CEDH, 9 déc. 1994, Lopez Ostra, n° 16780/90 relatif à l'émanation de gaz

CEDH, 23 mars 1995, Loizidou c/Turquie, n° 15318/89

CEDH, 22 mai 2003, Kyrtatos c/Grèce, n° 41666/98 relatif à la délivrance de permis de construire

CEDH, 10 nov. 2004, Taskin c/Turquie, n° 46771/99

CEDH, 28 nov. 2006, S. Murillo Saldias et autres c/Espagne, n° 76973/01 relatif à des pluies torrentielles

CEDH, 22 mars 2008, Boudaïeva et autres c. Russie, n°15339/02, 21166/02, 11673/02 et 15343/02 relatif aux coulées de boue

CEDH, 28 févr. 2012, Kolyadenko et autres c/Russie, n°17423/05 relatif à l'inondation

CEDH, 17 nov. 2015, Özel et autres c/ Turquie, n°14350/05, 15245/05 et 16051/05
relatif au séisme d'Izmit

ANNEXE III Exemples d'application du modèle de prédiction des conséquences juridiques

A. Probabilité d'engagement de la responsabilité dans le cas de L'Aquila

Fonction Moyens de prévention et de protection

Concernant le séisme de L'Aquila, l'étude des décisions juridiques rendues (CA L'Aquila, 10 nov. 2014, n°3317 ; n°2583/2013), des documents réglementaires de la commune et de l'état de l'art (Imperiale et Vanclay., 2018) permettent de rendre une analyse à posteriori sur les moyens de prévention et de protection existants sur cette commune. A partir de ces données, nous avons pu remplir, à postériori, le tableau correspondant à l'évaluation du niveau de mise en place des moyens de prévention et de protection (Table I & Table II).

Table I. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre pour le cas de L'Aquila

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune	4	Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	2
Frise chronologique des événements naturels	4	Vulnérabilité des bâtiments	2
Cadre réglementaire du risque sismique	3	Scénarii de simulation de crises	1
Réglementation parasismique	2	Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	3
Responsabilité de l' élu relative au risque sismique	2	Communication interservices	2
Instances scientifiques et coordination	4	Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	3
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	1
		Budget et ressources nécessaires	1
		Certification ou label spécifique	
		Participation à des travaux de recherche	3
Total du cycle	19	Total du cycle	18

Table II. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre pour le cas de L'Aquila

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour	2	PPRN approuvé et mis en place	
Affichage et signalisation	1	PPRN annexé au PLU	
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	1	PLU/règle d'urbanisme	2
Réunions	2	Urbanisme régulé	2
PCS fait et mis à jour	3	Demande d'utilisation du Fonds Barnier	
Travaux d'entretien d'ouvrages	2	Sécurité des ouvrages de protection	2
Etudes sismologiques/ Programmes de recherche	3	Permis de construire/ Information IAL	2
Décisions protectrices	1	Travaux de renforcement parasismique	1
Total du cycle	15	Total du cycle	9

Le total du cycle pour le cas du séisme de L'Aquila est de 61 sur 112 pour un cycle ayant tous les indicateurs à un statut des moyens de prévention et de protection mis en œuvre, ajusté et pérennisé (cotation à 4/4). Ainsi 61 équivaut à un pourcentage de mise en place des moyens de prévention et de protection de 54%. Ainsi la classe de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque sismique est : Moyens de prévention et de protection maîtrisés. Le coefficient d'application α_{moyens} associé est égal à 2. Le comportement adopté vis-à-vis des moyens de de prévention et de protection mis en œuvre se qualifie comme actif.

Fonction préjudice

Nous avons utilisé les conséquences provoquées par le séisme de L'Aquila pour appliquer la fonction liée au préjudice. Le préjudice social subi est de 308 morts et le préjudice économique est de 5 milliards de dollars us (EMDAT, 2018) classant le préjudice comme une catastrophe majeure. Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé, vaut 5.

Engagement de la responsabilité

L'évaluation de du risque d'engagement de la responsabilité (ER) est donnée par le calcul suivant :

$$ER = \alpha_{\text{Moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 2 * 5 = 10$$

La Table III. définit le niveau d'engagement de la responsabilité comme fort du fait de la couleur rouge.

Table III. Matrice du risque d'engagement de la responsabilité pour la commune de La Faute-sur-Mer pour le cas de Xynthia

Classe du Préjudice Statut des Moyens	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
Moyens < 25%	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
25% ≤ Moyens < 50%	Green	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
50% ≤ Moyens < 75%	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	10 = L'Aquila
75% ≤ Moyens	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red

B. Probabilité d'engagement de la responsabilité pour la commune de La Faute-sur-Mer dans le cas de Xynthia

Fonction Moyens de prévention et de protection

Concernant la tempête Xynthia, l'étude des décisions juridiques rendues (CAA Nantes, 10 décembre 2019, n°s 18NT01531, 18NT01546, 18NT01620, 18NT01621, 18NT01642, TGI Sables-d'Olonne, 12 déc. 2014, n° 877/2014) et des documents réglementaires de la commune permettent de rendre une analyse sur les moyens de prévention et de protection existants sur cette commune. A partir de ces données, nous avons pu remplir, à posteriori, le tableau correspondant à l'évaluation du niveau de mise en place des moyens de prévention et de protection (Table IV & Table V).

Table IV. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre pour le cas de Xynthia

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune		Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	3
Frise chronologique des événements naturels	2	Vulnérabilité des bâtiments	3
Cadre réglementaire du risque sismique		Scénarii de simulation de crises	2
Réglementation parasismique		Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	
Responsabilité de l' élu relative au risque sismique	3	Communication interservices	2
Instances scientifiques et coordination	3	Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	
		Budget et ressources nécessaires	2
		Certification ou label spécifique	1
		Participation à des travaux de recherche	2
Total du cycle	8	Total du cycle	14

Table V. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre pour le cas de Xynthia

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour	2	PPRN approuvé et mis en place	1
Affichage et signalisation	2	PPRN annexé au PLU	1
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	2	PLU/règle d'urbanisme	2
Réunions	2	Urbanisme régulé	1
PCS fait et mis à jour	2	Demande d'utilisation du Fonds Barnier	3
Travaux d'entretien d'ouvrages	1	Sécurité des ouvrages de protection	2
Etudes tempête / Programmes de recherche	3	Permis de construire/ Information IAL	2
Décisions protectrices	1	Travaux de renforcement parasismique	
Total du cycle	15	Total du cycle	12

Le total du cycle pour le cas de Xynthia est de 49 sur 100 pour un cycle ayant tous les indicateurs à un statut des moyens de prévention et de protection mis en œuvre, ajustés et pérennisés (cotation à 4/4). Ainsi 49 équivaut à un pourcentage de mise en place des moyens de prévention et de protection situé entre 25% et 50%. Ainsi la classe de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque tempête pour la commune de La Faute-sur-Mer est : Moyens de prévention et de protection définis. Le coefficient d'application α_{moyens} associé est égal à 3. La commune de La Faute-sur-Mer a un comportement qualifié de passif au moment de Xynthia en 2009 vis-à-vis du risque tempête.

Fonction préjudice

Nous avons utilisé les conséquences provoquées par la tempête pour appliquer la fonction liée au préjudice. Le préjudice social subi est de 49 morts classant le préjudice comme un accident très grave. Le coefficient de conséquences μ_{cons} associé, vaut 3.

Engagement de la responsabilité

L'évaluation du risque d'engagement de la responsabilité (ER) est donnée par le calcul suivant :

$$ER = \alpha_{\text{Moyens}} * \mu_{\text{cons}} = 3 * 3 = 9$$

La table VI définit le niveau d'engagement de la responsabilité comme fort du fait de la couleur rouge.

Table VI. Matrice du risque d'engagement de la responsabilité pour la commune de La Faute-sur-Mer pour le cas de Xynthia

Classe du Préjudice \ Statut des Moyens	Incident	Accident	Accident grave	Accident très grave	Catastrophe	Catastrophe majeure
Moyens < 25%	Yellow	Yellow	Red	Red	Red	Red
25% ≤ Moyens < 50%	Green	Yellow	Yellow	9 = Xynthia	Red	Red
50% ≤ Moyens < 75%	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
75% ≤ Moyens	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red

ANNEXE IV Auto-évaluation de la qualité des moyens de prévention et de protection

A. Mis en œuvre sur Nice

Grille renseignée par le Service Risques Majeurs de la Métropole de Nice Côte d'Azur, le 15 septembre 2020

Fonction Moyens de prévention et de protection

Lors du travail avec le service de la Métropole Nice Côte d'Azur (15 septembre 2020), ce dernier a pu associer une cotation à chaque indicateur du modèle juridique sur la base du dispositif de la roue de Deming, d'autoévaluation d'appréciation de la qualité des Moyens de prévention et de protection mis en œuvre à Nice (Table VII & Table VIII). Cette démarche s'inscrit dans une approche de gestion des risques à priori.

Table VII. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre à Nice

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune	4	Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	3
Frise chronologique des événements naturels	4	Vulnérabilité des bâtiments	3
Cadre réglementaire du risque sismique	4	Scénarii de simulation de crises	4
Réglementation parasismique	4	Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	3
Responsabilité de l' élu relative au risque sismique	3	Communication interservices	3
Instances scientifiques et coordination	3	Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	2
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	2
		Budget et ressources nécessaires	2
		Certification ou label spécifique	
		Participation à des travaux de recherche	4
Total du cycle	22	Total du cycle	26

Table VIII. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre à Nice

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour	4	PPRN approuvé et mis en place	4
Affichage et signalisation	4	PPRN annexé au PLU	4
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	3	PLU/règle d'urbanisme	4
Réunions	3	Urbanisme régulé	4
PCS fait et mis à jour	4	Demande d'utilisation du Fonds Barnier ou des subventions d'Etat	3
Travaux d'entretien d'ouvrages	3	Sécurité des ouvrages de protection	3
Etudes sismologiques / Programmes de recherche	4	Permis de construire/ Information IAL	4
Décisions protectrices	3	Travaux de renforcement parasismique	2
Total du cycle	28	Total du cycle	28

Le total du cycle pour la métropole Nice Côte d'Azur est de 104 sur 124 pour un cycle ayant tous les indicateurs à un statut des moyens de prévention et de protection mis en œuvre, ajustés et pérennisés (cotation à 4/4). Ainsi 104 équivaut à un pourcentage de mise en place des moyens de prévention et de protection situé entre 75% et 100%, soit 84%. Ainsi la classe de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque sismique pour la Métropole de Nice Côte d'Azur est : Moyens de prévention et de protection optimisés. Le coefficient d'application α_{moyens} associé est égal à 1. La métropole de Nice Côte d'Azur a un comportement qualifié de pro-actif vis-à-vis du risque sismique sur son territoire.

B. Mis en œuvre sur la ville de Grenoble

Grille renseignée par le Service Sécurité Civile de la ville de Grenoble, le 12 octobre 2020

Fonction Moyens de prévention et de protection

Lors du travail avec le service Sécurité Civile de la ville de Grenoble (12 octobre 2020), ce dernier a pu associer une cotation à chaque indicateur du modèle juridique sur la base du dispositif de la roue de Deming, d'autoévaluation d'appréciation de la qualité des Moyens de prévention et de protection mis en œuvre sur la ville de Grenoble (Table IX & Table X). Cette démarche s'inscrit dans une approche de gestion des risques à priori.

Table IX. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre sur la ville de Grenoble

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune	3	Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	4
Frise chronologique des événements naturels	2	Vulnérabilité des bâtiments	3
Cadre réglementaire du risque sismique	3	Scénarii de simulation de crises	2
Réglementation parasismique	3	Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	4
Responsabilité de l' élu relative au risque sismique	3	Communication interservices	2
Instances scientifiques et coordination	4	Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	3
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	1
		Budget et ressources nécessaires	1
		Certification ou label spécifique	
		Participation à des travaux de recherche	3
Total du cycle	18	Total du cycle	23

Table X. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre sur la ville de Grenoble

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour	4	PPRN approuvé et mis en place	1
Affichage et signalisation	3	PPRN annexé au PLU	1
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	3	PLU/règle d'urbanisme	4
Réunions	1	Urbanisme régulé	4
PCS fait et mis à jour	4	Demande d'utilisation du Fonds Barnier ou des subventions d'Etat	1
Travaux d'entretien d'ouvrages	1	Sécurité des ouvrages de protection	1
Etudes sismologiques / Programmes de recherche	3	Permis de construire/ Information IAL	4
Décisions protectrices	4	Travaux de renforcement parasismique	2
Total du cycle	23	Total du cycle	18

Le total du cycle pour la ville de Grenoble est de 82 sur 124 pour un cycle ayant tous les indicateurs à un statut des moyens de prévention et de protection mis en œuvre, ajustés et pérennisés (cotation à 4/4). Ainsi 82 équivaut à un pourcentage de mise en place des moyens de prévention et de protection situé entre 50% et 75%, soit 66%. Ainsi la classe de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque sismique pour la ville de Grenoble est : Moyens de prévention et de protection maîtrisés. Le coefficient d'application α_{moyens} associé est égal à 2. La ville de Grenoble a un comportement qualifié d'actif vis-à-vis du risque sismique.

C. Mis en œuvre sur Grenoble Alpes Métropole

Grille renseignée par le Service Risque de Grenoble-Alpes Métropole, le 12 octobre 2020

Fonction Moyens de prévention et de protection

Lors du travail avec le service Risque de la Métropole de Grenoble Alpes (12 octobre 2020), ce dernier a pu associer une cotation à chaque indicateur du modèle juridique sur la base du dispositif de la roue de Deming, d'autoévaluation d'appréciation de la qualité des Moyens de prévention et de protection mis en œuvre sur le territoire de la métropole grenobloise (Table XI & Table XII). Cette démarche s'inscrit dans une approche de gestion des risques à priori.

Table XI. Tableau de cotation des indicateurs relatifs à la culture du risque, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre sur la Métropole de Grenoble Alpes

Culture du risque sismique			
Connaissance		Conscience	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
Zonage sismique de la commune	3	Vulnérabilité sociale et humaine du territoire	4
Frise chronologique des événements naturels	3	Vulnérabilité des bâtiments	2
Cadre réglementaire du risque sismique	4	Scénarii de simulation de crises	3
Réglementation parasismique	3	Compétences spécifiques dédiées au risque sismique	4
Responsabilité de l' élu relative au risque sismique	2	Communication interservices	3
Instances scientifiques et coordination	4	Formation des élus vis-à-vis du risque sismique	2
		Ligne budgétaire par rapport à la conformité du bâti	4
		Budget et ressources nécessaires	3
		Certification ou label spécifique	
		Participation à des travaux de recherche	4
Total du cycle	19	Total du cycle	29

Table XII. Tableau de cotation des indicateurs relatifs aux mesures de prévention et de protection, permettant d'évaluer la qualité et l'avancement des moyens mis en œuvre sur la Métropole de Grenoble Alpes

Mesures de prévention et de protection			
Mesures de police		Mesures d'urbanisme	
Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action	Indicateurs	Cotation choisie du niveau de qualité/avancement de l'action
DICRIM à jour		PPRN approuvé et mis en place	1
Affichage et signalisation	2	PPRN annexé au PLU	1
Sensibilisation/Formation préventive du grand public	2	PLU/règle d'urbanisme	4
Réunions	3	Urbanisme régulé	4
PCS fait et mis à jour		Demande d'utilisation du Fonds Barnier ou des subventions d'Etat	1
Travaux d'entretien d'ouvrages	3	Sécurité des ouvrages de protection	2
Etudes sismologiques / Programmes de recherche	2	Permis de construire/ Information IAL	4
Décisions protectrices	2	Travaux de renforcement parasismique	4
Total du cycle	14	Total du cycle	21

Le total du cycle pour Grenoble Alpes Métropole est de 83 sur 116 pour un cycle ayant tous les indicateurs à un statut des moyens de prévention et de protection mis en œuvre, ajustés et pérennisés (cotation à 4/4). Ainsi 83 équivaut à un pourcentage de mise en place des moyens de prévention et de protection situé entre 50% et 75%, soit 72%. Ainsi la classe de la qualité des moyens de prévention et de protection face au risque sismique pour la métropole de Grenoble Alpes est : Moyens de prévention et de protection maîtrisés. Le coefficient d'application α_{moyens} associé est égal à 2. La Métropole de Grenoble Alpes a un comportement qualifié d'actif vis-à-vis du risque sismique.

