



FONDATION MAIF

Rapport Final

Analyse de la vulnérabilité du bâti existant.
Estimation et réduction des incertitudes dans l'estimation des dommages et des pertes pour un scénario sismique donné

Période janvier 2012 - juillet 2015

Doctorant : Ismael Riedel (ISTerre, France)
email: ismael.riedel@ujf-grenoble.fr

Directeur de thèse: Philippe Gueguen (ISTerre, France)
email : philippe.gueguen@ujf-grenoble.fr

Université Joseph Fourier, Grenoble, Ecole doctorale Terre Univers
Environnement

Septembre 2015

Table des matières

Bilan des actions de valorisation et communication	3
Bilan des dépenses	6
Actions réalisées	12
Rapport synthétique 2012-2015	13
1. Résumé	13
2. Modèles d'estimation de dommages sismique - Présentation et état de l'art	14
3. Évaluation de la vulnérabilité sismique des milieux urbains dans des régions à sismicité faible à modérée utilisant des techniques de fouille des données.	15
4. Analyse des pertes et analyse coût-bénéfice. Evaluation des investissements pour le renforcement des bâtiments en France	18
5. Conclusions générales et perspectives.	27
6. Quelques réflexions sur le Plan de Valorisation - P. Guéguen	29
Annexe 1 - Poster	32
Annexe 2 - Articles publiés	34
Annexe 3 - Thèse Ismael Riedel Résumé	36

Bilan des actions de valorisation et communication

VALORISATION - VULGARISATION

2012-2015: Le risque sismique en France et la réglementation - Accueil de classes de collège et de lycée à ISTerre (3 à 4 par an).

Séminaire Sismologie Urbaine à ISTerre - **06-08 juillet 2015 à ISTerre** - Nous avons profité des soutenance de thèse de Hugo Yepes (06 juillet à 14:00) et d'Ismael Riedel (08 juillet 10:00) pour organiser à ISTerre une série de séminaires portant sur l'évaluation de l'aléa sismique et du risque. Quatre séminaires majeurs seront donnés par David Wald (USGS), David Baumont (Fugro), Eric Calais (ENS-Paris) et Fabrice Cotton (GFZ) abordant les évolutions de ces dernières années dans le domaine de l'évaluation de l'aléa sismique, l'estimation rapide des conséquences des séismes et la gestion de crise, centrées sur le risque sismique en milieu urbain. Avec le soutien de la Fondation MAIF.

Intervention auprès des élèves du Lycée du Grésivaudan (Meylan, 38) sur la construction parasismique, **06 décembre 2014.** *Education*

Article sur la vulnérabilité de Grenoble - **Avril 2014** - Revue locale *Place Gre'net*

Visite des élèves du lycée Louise Michel à ISTerre - Présentation de P. Guéguen sur le risque sismique - **28 mars 2014**

Intervention auprès des élèves du Lycée du Grésivaudan (Meylan, 38) sur les sciences de la terre, Forum des métiers, 06 décembre 2014. *Education.*

Présentation grand public de P. Guéguen sur le risque sismique et la vulnérabilité dans le cadre de la mise en place de la nouvelle réglementation - Eymoutier (87) - **25 Avril 2014**

Intervention post-sismique dans la vallée de l'Ubaye du **14 au 16 avril 2014**, suite au séisme du 07 avril 2014, pour collecter des informations sur les dommages. Réunion avec les autorités locales (préfecture, député, gendarme etc...)

Intervention au Lycée du Mont-Blanc (Saint Gervais) sur la sismologie et le risque sismique dans les Alpes - Le Fayet (74) - **04 février 2014**

Apéro Citoyen à la bibliothèque des Béalières Meylan - Le risque sismique à Grenoble - Intervention de P. Guéguen - **25 novembre 2014**

Journée de restitution du projet ANR URBASIS - Avec le soutien de la Fondation MAIF - **18 novembre 2014**

Intervention auprès des élèves du Lycée du Grésivaudan (Meylan, 38) sur la construction parasismique, **14 décembre 2013.** *Education*

La séquence sismique de Mai 2012 en Emilie-Romagne (région de Ferrara à Modena), restitution de la mission AFPS, **14 novembre 2012**, Paris. *A destination des scientifiques, ingénieurs, ministères*

Vulnérabilité sismique du bâti existant. Intervention au Salon des Maires de France, 20, **21, 22 novembre 2012**, Paris, Porte de Versailles. Pour le compte de la Fondation MAIF

Risque sismique à Grenoble. Lecture et échange avec Dany Laferrière, autour de son livre "Tout bouge autour de moi" (Edition Grasset), 10e Printemps du Livre de Grenoble, **28 mars 2012**, Mentionnant la Fondation MAIF

COLLABORATIONS INITIÉES

14 janvier 2015 - Réunion téléphonique avec la banque mondiale pour notre expertise sur la vulnérabilité sismique du bâti

2013-2014 - Collaborations avec le laboratoire Gipsa-Lab - Mauro Della Mura - Imagerie satellite, Support Vector Machine. *Co-auteur de l'article Riedel et al., 2015*

2013-2014 - Partenariat avec le laboratoire GeoAzur - Françoise Courboux - et le CETE Méditerranée - Etienne Bertrand - Projet Interreg CASSAT sur la représentation et l'estimation rapide des dommages sur les Alpes en cas de séismes.

14 - 18 décembre 2014 - Echanges pédagogiques avec l'Institut de Technologie de Bucharest sur la vulnérabilité sismique du bâti existant - Alex Aldea - Intervention pédagogique sur la sismologie urbaine.

10-12 décembre 2014 - Visite au GFZ de Potsdam pour développer des outils de collecte des données via Open-StreetMap et Grenoble serait un site pilote.

11-19 octobre 2014 - Séjour à Quito (Equateur) pour mettre en place un projet d'analyse de la vulnérabilité sismique de la ville de Quito dans le cadre du projet Global Earthquake Model.

30 juin - 5 juillet 2014 - Analyse de la vulnérabilité sismique des églises de Savoie dans le cadre d'une collaboration avec l'ENS Cachan.

20-21 février 2014 - Séjour d'Ismael Riedel au BCSF de Strasbourg - Tests des méthodes de vulnérabilité sur la région de Strasbourg.

25 avril 2012 - Collaborations avec le laboratoire d'Urbanisme de l'université de Nantes - T. Leduc - Analyse des formes urbaines à intégrer à l'évaluation de la vulnérabilité. *Co-auteur de l'article Riedel et al., 2015*

19 avril 2012 - Collaborations avec les partenaires du projet NERA (FP7- Projet Européen) - Identifier Grenoble comme un site pilote européen

PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES À COMITÉ DE LECTURE

Publications scientifiques

- Riedel I. **2015**. Analyse de la vulnérabilité du bâti existant. Estimation et réduction des incertitudes dans l'estimation des dommages et des pertes pour un scénario

sismique donné, Thèse de doctorat de l'Université de Grenoble Alpes, soutenance le 08 juillet 2015, Grenoble, 212 pages.

- 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, *Natural Hazards*, 76(2):1111-1141. doi , *Natural Hazards*, doi: [10.1007/s11069-014-1538-0](https://doi.org/10.1007/s11069-014-1538-0)
- Riedel I., Guéguen P., Dunand F., Cottaz S. **2014**. Macro-scale vulnerability assessment of cities using Association Rule Learning, *Seismological Research Letters*, 85(2): 295-305. [10.1785/0220130148](https://doi.org/10.1785/0220130148)
- Riedel I., Gueguen P. **2015**. Earthquake loss analysis and cost-benefit exploration for earthquake damage mitigation: evaluating retrofitting investments in France, *Risk Analysis*, soumis.

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Conférence Invitée - Université de Bucarest, 17 décembre 2014

Sismologie Urbaine - Prédiction du mouvement sismique et des dommages en ville -
Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF dans les projets - Philippe Guéguen

Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology Istanbul, Turkey - 24-29 August, 2014

Seismic vulnerability of urban environment using datamining machines. *Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF - Ismael Riedel*

Seismological Society of America - April 2014 - Anchoradge

Présentation orale sur la vulnérabilité sismique - *travail d'Ismael Riedel et Philippe Guéguen mentionnant le soutien de la Fondation MAIF*

Restitution du projet ANR URBASIS à Grenoble - 18 novembre 2014

Seismic vulnerability of urban environment using datamining machines. - *Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF - Ismael Riedel*

VIII biennale du Réseau Accélérométrique Permanent - 26/27/28 novembre 2014

Estimation rapide des dommages en lien avec les services d'observation nationaux
Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF - Philippe Guéguen

Réunion de prospective Horizon@2020. Zell am See, 02-03 septembre 2013

Seismic vulnerability assessment for classical buildings - *Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF dans les projets en perspective - Philippe Guéguen*

Seismological Society of America - April 2013 - Salt Lake City

Seismic vulnerability of urban environment using datamining machines - Voir poster annexe 1 *Mentionnant le soutien de la Fondation MAIF - Ismael Riedel*

Bilan des dépenses sur la période 2012-2015

2012

N° commande	Souche	Date facture fournisseur	Montant facturé	N° facture fournisseur	Raison sociale fournisseur
1. Personnel					
49416	GRATIF STAGE	29/03/2012	2 369,21	104144-COTTAZ GTF 05/03/12-17/08/12	COTTAZ STEPHANIE
49496	RIEDEL	30/04/2013	2 336,45	PAYE/AVRIL12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/05/2013	2 336,45	PAYE/MAI2012	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/06/2013	2 336,45	PAYEJUIN12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/07/2013	2 336,45	PAYE/JUILLET12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/08/2013	2 336,45	PAYE/AOUT12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/09/2013	2 336,45	PAYE/SEPT12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/10/2013	2 336,45	PAYE/OCT12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/11/2013	2 336,45	PAYE/NOV12	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/12/2013	2 336,45	PAYE/DEC12	RIEDEL ISMAEL
SOUS TOTAL 1			23 397,26		
2. Frais de personnel et liés à la structure					
49088	Frais de Gestion	16/03/2012	5 685,00	FDG Tranche 12-13	UJF GRENOBLE
SOUS TOTAL 2			5 685,00		
3. Equipement - Investissement					
53612	Cable	21/12/2012	130,00	?	ARTHESIS DAUPHINE SAVOIE
51904	Mac Book Pro Riedel	21/09/2012	1 747,35	?	OLYS BIMP INFORMATIQUE
53755	Licece Matlab Gueguen	16/01/2013	239,88		MATWORKS
SOUS TOTAL 3			2 117,23		
4. Documentation - Déplacements - Colloques					
52755	Remboursement Livre Gueguen	06/11/2012	62,00		GUEGUEN PHILIPPE
53496	Inscription Guéguen SSA Meeting	14/12/2012	128,13		SEISMOLOGICAL SOCIETY AMERICA
52223	Mission Paris Gueguen 22/10/2012	08/10/2012	145,00		SELECTOUR
52619	Mission Paris Gueguen 22/10/2012	25/10/2012	53,00		SELECTOUR
SOUS TOTAL 4			388,13		
TOTAL 2013			31 587,62		

2013

N° commande	Souche	Date facture fournisseur	Montant facturé	N° facture fournisseur	Raison sociale fournisseur
1. Personnel					
57104	GRATIF STAGE	21/08/2013	436,05	GRATIF/JUILL13	VIDAL MANUEL

57104	GRATIF STAGE	01/08/2013	436,05	GRATIF/ AOUT2013	VIDAL MANUEL
57104	GRATIF STAGE	01/09/2013	436,05	GRATIF/ SEPT13	VIDAL MANUEL
56327	GRATIF STAGE	30/06/2013	443,32	3100115190	COMBE KEVIN
49496	RIEDEL	31/01/2013	2 336,45	Paye 01/2013	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	28/02/2013	2 336,45	Paye 02/2013	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/03/2013	2 336,45	PAYE MARS 13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/04/2013	2 336,45	PAYE/ AVRIL13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/05/2013	2 336,45	PAYE/ MAI2013	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/06/2013	2 336,45	PAYEJUIN1 3	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/07/2013	2 336,45	PAYE/ JUILLET13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/08/2013	2 336,45	PAYE/ AOUT13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/09/2013	2 336,45	PAYE/ SEPT13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	31/10/2013	2 336,45	PAYE/ OCT13	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/11/2013	2 336,45	PAYE/ NOV2013	RIEDEL ISMAEL
49496	RIEDEL	30/12/2013	2 336,45	PAYE/ DEC13	RIEDEL ISMAEL
56852	SCHINKMANN	31/08/2013	5 895,96	3100116582	SCHINKMANN Jakub
SOUS TOTAL 1			35 684,83		
2. Frais de personnel et liés à la structure					
49088	Frais de Gestion	20/01/2014	5 685,00	1er et 2ème enc	UJF GRENOBLE
49497	RIEDEL Provision perte d'emploi	30/03/2013	4 679,00	APE Riedel 2012-13	RIEDEL ISMAEL
SOUS TOTAL 2			10 364,00		
3. Equipement - Investissement					
53755	Licence Matlab Gueguen	21/01/2013	239,88	?	MATHWORKS
55776	adobe pro II licence Riedel	19/12/2013	84,00	?	SIMSU
55930	Mac Office Riedel	22/05/2013	44,83 fr- psi-105787	fr- psi-105787	SOFTWAREONE
55931	Disque Dur Gueguen	22/05/2013	44,83	fr- psi-105784	SOFTWAREONE
55121	Abonnement SFR Gueguen	22/11/2013	340,21	KBY2224	SFRCEGETEL
54770	Riedel - Adaptateur	14/03/2013	59,5		BIMP INFORMATIQUE
SOUS TOTAL 3			708,92		
4. Documentation - Déplacements - Colloques					
55707	Cargese Ecole d'été	15/05/2013	30,50	om17080	GUEGUEN PHILIPPE
54210	Mission Riedel SSA Meeting	13/02/2013	983,16	30627152	SELECTOUR
54376	Baumont Invitation Séminaire Grenoble	23/01/2013	285,00	30624396	SELECTOUR
54544	Mission Guéguen SSA Meeting	21/02/2013	1 323,76	30628323	SELECTOUR
55595	Schlupp Mission Grenoble	03/05/2013	146,90	30637776	SELECTOUR
55622	Mission Riedel SSA Meeting	07/05/2013	766,77	om16097	RIEDEL ISMAEL
59161	Riedel Mission Paris	16/12/2013	175,18	30664497	SELECTOUR

53496	Inscription Guéguen SSA Meeting	14/12/2012	128,13		SEISMOLOGICAL SOCIETY AMERICA
55794	Mission Guéguen SSA Meeting	17/05/2013	1 145,64	om16217	GUEGUEN PHILIPPE
54056	Gueguen Frais de change	08/02/2013	17,73		SEISMOLOGICAL SOCIETY AMERICA
54318	Gueguen Mission Pavie	22/03/2013	498,80	0000499389	GUEGUEN PHILIPPE
56414	Schlupp Mission Grenoble 06-07/05/2013	07/05/2013	129,05	0000056789	SCHLUPP Antoine
57051	Gueguen Vol Munich	07/08/2013	318,63	30648792	SELECTOUR
57321	Gueguen Mission PARIS	20/09/2013	174,50	0000541922	GUEGUEN PHILIPPE
57365	Gueguen Renouvellement Abonnement SNCF	08/08/2013	996,50	30648834	SELECTOUR
57372	Gueguen Mission Autriche 01-04/09/2013	11/09/2013	319,30	om18541	GUEGUEN PHILIPPE
58085	Gueguen Mission PARIS	12/09/2013	115,68	30651374	SELECTOUR
58375	Gueguen Mission Pavie	30/10/2013	271,00	OM19212	GUEGUEN PHILIPPE
54318	GUEGUEN PHILIPPE Milan 20/03/13 au 22/03	22/03/2013	498,80	0000499389	GUEGUEN PHILIPPE
54393	Gueguen Publication SRL	11/02/2013	2 838,75	103116	SEISMOLOGICAL SOCIETY AMERICA
54536	Gueguen Restaurant Baumont	08/02/2013	267,67	10	RESTAURANT LE VILLAGE
55710	Invitation J. Harb Beyrouth	06/05/2013	819,05	3063789	SELECTOUR
55300	2-2013 - Impression Poster	11/04/2013	59,55	82/930/IRIS	GRENOBLE INP
55554	Documentation BRGM	24/04/2013	1 500,00	40972	BRGM Editions
54870	Carte IGN	03/05/2013	1 749,00	91066925	IGN
57094	Transporteur divers	16/08/2013	27,34	DHL MARS13	DHL
SOUS TOTAL 4			12 250,50		
TOTAL 2013			59 008,25		

2014

N° commande	Souche	Date facture fournisseur	Montant facturé	N° facture fournisseur	Raison sociale fournisseur
1. Personnel					
60324	RIEDEL	31/01/2014	2 339,37	PAYE/JANV14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	28/02/2014	2 433,65	PAYE/FEVR14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	31/03/2014	2 433,65	PAYE/MARS14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	30/04/2014	2 433,65	PAYE/AVRIL14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	31/05/2014	2 433,65	PAYE/MAI2014	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	30/06/2014	2 433,65	PAYE/JUIN14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	31/07/2014	2 433,65	PAYE/JUILLET14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	31/08/2014	2 433,65	PAYE/AOUT14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	30/09/2014	2 433,65	PAYE/SEPT14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	31/10/2014	2 433,65	PAYE/OCT14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	30/11/2014	2 433,65	PAYE/NOV14	RIEDEL ISMAEL
60324	RIEDEL	05/01/2015	2 433,65	PAYE DECEMBRE	RIEDEL ISMAEL

SOUS TOTAL 1		29 109,52			
2. Frais de personnel et liés à la structure					
	Frais de Gestion	20/01/2014	5 685,00	1er et 2ème enc	UJF GRENOBLE
49497	RIEDEL Provision Perte Emploi	07/04/2014	2 803,74	PPE 2013	UJF GRENOBLE
SOUS TOTAL 2		8 488,74			
3. Equipement - Investissement					
60663	Guéguen Licence SolidWorks	20/03/2014	300,00	SIFV046674	AXEMBLE SOLUTIONS FOR INDUSTRI
61439	Gueguen Licence Matlab	23/04/2014	239,88	43279	MATHWORKS
58790	Disque dur	06/12/2013	218,40	FB0020	SERELIO
58960	PC Calcul Langlais	06/01/2014	2 079,00	FC1401021	ABS ALTO
	Abonnement SFR Gueguen	22/11/2013	320	KBY2224	SFRCEGETEL
SOUS TOTAL 3		3157,28			
4. Documentation - Déplacements - Colloques					
62744	Colloque EWSHM Nantes	05/09/2014	466,60	om22273	GUEGUEN PHILIPPE
59618	Mission PARIS Ismael	04/02/2014	123,66	om86204	RIEDEL ISMAEL
59969	Mission Paris Ismael	11/02/2014	211,10	30670180	SELECTOUR
60019	Mission Guéguen Chamonis	07/04/2014	40,00	20754	GUEGUEN PHILIPPE
60131	Mission Gueguen SSA meeting Anchorage	17/02/2014	1 821,58	30670947	SELECTOUR
60267	Mission Riedel Strasbourg	07/04/2014	211,50	88371	RIEDEL ISMAEL
61798	Mission Gueguen SSA meeting Anchorage	16/06/2014	1 440,18	om21561	GUEGUEN PHILIPPE
62082	Mission Riedel Istanbul Conference	30/06/2014	576,69	005724973	CWT FRANCE
62082	Mission Riedel Istanbul Conference	30/06/2014	4,00	005724973	CWT FRANCE
62083	Mission Gueguen Istanbul Conference	11/06/2014	629,69	30684870	SELECTOUR
62933	Mission Riedel Istanbul Conference	17/11/2014	871,86	17/11/14	RIEDEL ISMAEL
64249	Frais gestion UJF	04/03/2014	2 184,00	PI 4500202756	UJF GRENOBLE
64407	yesou	07/11/2014	455,00	30700100	SELECTOUR
64411	Mission Riedel Istanbul Conference	17/12/2014	396,10	remboursement	RIEDEL ISMAEL
64505	yesou	28/11/2014	92,16	30702937	SELECTOUR
64506	bossu	04/12/2014	92,16	30702934	SELECTOUR
65106	grenoble	22/12/2014	115,75	om23957	YESOU HERVE
59007	langlais	13/12/2013	103,39	1-3403	ESPACE MONTAGNE
64735	Mission Trevelopoulos Fréjus	25/11/2014	110,00	30702489	SELECTOUR
64865	Mission Langlais Fréjus	17/12/2014	30,50	om23766	LANGLAIS Mickael
64906	Mission Gueguen Paris Fréjus	15/12/2014	195,30	om23577	GUEGUEN PHILIPPE
64954	Transport Materiel Gueguen pour Strasbourg	22/12/2014	155,18	5000339241	ULISSE CNRS
63763	Gueguen MJ	20/12/2014	336,00	PI UJF	UJF GRENOBLE
SOUS TOTAL 4		13 102,70			
TOTAL 2014		53 858,24			

2015

N° commande	Souche	Date facture fournisseur	Montant facturé	N° facture fournisseur	Raison sociale fournisseur
-------------	--------	--------------------------	-----------------	------------------------	----------------------------

1. Personnel					
65601	RIEDEL	10/02/2015	15 925,00	CDD 01/01/2015 AU 15/07/2015	RIEDEL ISMAEL
65518	GRATIF Stage	20/03/2015	2 998,38	GRATIF 02/03-28/08/1 5 4500243042	NARY ANRIAMBELO RASOLONJATO VO
66429	GRATIF STAGE	20/03/2015	4 177,16	01/04-31/07/15 BRSE ASTORGA NINO Ariana	EGIDE CAMPUS FRANCE
SOUS TOTAL 1			23 100,54		
2. Frais de personnel et d'établissement					
SOUS TOTAL 2			0,00		
3. Equipement - Investissement					
65736	Gueguen Licence Matlab	16/02/2015	239,88	Matlab	MATHWORKS
68625	Achat regularisation Licence info	30/07/2015	44,83	4500257171	SOFTWAREONE
68627	CDE LICE?CES OFFICA MAC	30/07/2015	44,83	4500257173	SOFTWAREONE
65708	Plaque calcaires pour expériences labo	16/02/2015	300,00	GUEG237758	MARBRERIE MARASCHIN GRENOBLOIS
68578	Achat MAC + Accessoir	27/07/2015	1533,25	GUEGUEN	FRANCE SYSTEME
SOUS TOTAL 3			2162,79		
4. Documentation - Déplacements - Colloques					
65518	Train P. GUEGUEN 12-13/02/15	06/02/2015	155,00	GUEG237272	SELECTOUR
65529	Hôtel P. GUEGUEN 12-13/02/15	06/02/2015	117,83	GUEG237281	SELECTOUR
65533	Mission PARIS 12-13/02/15	06/02/2015	70,66	PARIS	GUEGUEN PHILIPPE
65736	Mission NIORT 12-13/01/15	17/02/2015	369,03	NIORT	GUEGUEN PHILIPPE
65737	Mission NIORT 12-13/01/15	17/02/2015	415,05	NIORT	RIEDEL ISMAEL
65777	26 JANVIER REUNION MAIF	18/02/2015	86,33	4500234946	LE CANBERRA
66136	Avion New York-Los Angeles 20-25/04/15	06/03/2015	307,03	GUEG240983	SELECTOUR
66336	Mission ETATS UNIS 20-25/04/15	17/03/2015	2 166,86	ETAT UNIS	GUEGUEN PHILIPPE
66474	Train P. GUEGUEN 25/03/14	23/03/2015	133,60	GUEG243190	SELECTOUR
66480	Mission Lausanne 25/03/15	23/03/2015	37,95	LAUSANNE	GUEGUEN PHILIPPE
67377	Mission ST Gervais 22/05/15	21/05/2015	32,45	STGERVAIS	GUEGUEN PHILIPPE
68657	4500257499	13/08/2015	1 000,80	P.GUEGUEN	TRAVEL PLANET
64124	PECKER ALAIN grenoble 28/10/14 au 28/10/	28/10/2014	0,00	grenoble	PECKER ALAIN
64938	adhésion EERI	05/12/2014	227,29	gueguen	EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARC
64986	adhésion SSA	09/12/2014	81,45	gueguen	SEISMOLOGICA L SOCIETY AMERICA
67294	SSA Pubilication	15/05/2015	4 810,00	Gueguen	SEISMOLOGICA L SOCIETY AMERICA
65289	Train Grenoble-Paris 20-22/14 P.GUEGUEN	13/01/2015	155,00	GUEG238838	SELECTOUR

65290	Hotel Paris 20-22/14 P.GUEGUEN	13/01/2015	225,66	GUEGUEN	SELECTOUR
67407	billet Gueguen 08-09/06 Mission Paris	26/05/2015	155,00	paris	SELECTOUR
67418	HOTEL NEW CANDIDE 08-06 GUEGUEN	26/05/2015	119,50	PARIS	SELECTOUR
67691	Avion David J. WALD Thèse RIEDEL	10/06/2015	2 730,49	WALD	CWT FRANCE
67712	Avion Robert SPENCE Thèse RIEDEL	10/06/2015	181,70	SPENCE	TRAVEL PLANET
67784	Hotel Angleterre M.SPENCE These RIEDEL	16/06/2015	179,28	SPEN252739	IALBATROS UJF
67785	Hotel Angleterre M.WALD These RIEDEL	16/06/2015	358,56	WALD252737	IALBATROS UJF
67915	remboursement SPENCE These RIEDEL	22/06/2015	76,25	GRENOBLE	SPENCE ROBERT
67916	Remboursement WALD These RIEDEL	22/06/2015	167,75	GRENOBLE	WALD DAVID
67963	Hotel Angleterre F.COURBOULEX These RIEDEL	24/06/2015	89,64	COUR253853	IALBATROS UJF
67966	AVION F.COURBOULEX These RIEDEL	24/06/2015	377,78	COUR253905	TRAVEL PLANET
67968	Remboursement COURBOULEX These RIEDEL	24/06/2015	89,45	GRENOBLE	COURBOULEX FRANCOISE
68010	AVION S.PAROLAI These RIEDEL	25/06/2015	325,18	PARO254141	TRAVEL PLANET
68028	remboursement PAROLAI These RIEDEL	26/06/2015	151,00	GRENOBLE	PAROLAI STEFANO
68031	Hotel Angleterre S. PAROLAI These RIEDEL	26/06/2015	89,64	PARO254253	IALBATROS UJF
68266	restaurant 7 personnes - jury de These RIEDEL	07/07/2015	140,00	gueguen	RESTAURANT UNIVE DIDER OISE BL
68267	Repas Veille soutenance These RIEDEL	07/07/2015	182,22	gueguen	LE GOUT DES AUTRES
SOUS TOTAL 4			12 117,64		
TOTAL 2015			37 380,97		

TOTAL 1. Personnel	111 292,15		
TOTAL 2. Frais de personnel et d'établissement	24 537,74		
TOTAL 3. Equipement - Investissement	8 146,22		
TOTAL 4. Documentation - Déplacements - Colloques	37 858,97	Contribution Fondation MAIF	Autres ressources: projets Européens, ANR URBASIS, LABEX portant sur la vulnérabilité sismique
TOTAL DES DEPENSES	181 835,08	136 500,00	45 335,08

ACTIONS RÉALISÉES

Démarrage du projet: 02/12/2011 (Mois 1)
 Démarrage du doctorat: 01/05/2012 (M6) - Fin prévue du doctorat : 30/04/2015 (M41)
 Rapport d'avancement 1: 12/2012 (M12)
 Rapport d'avancement 2: 12/2013 (M24)
 Rapport d'avancement 3: 12/2014 (M36)
 Rapport Final : 07/2014 (M48)

□ activités prévues ■ activités annulées - X : activités réalisées

Mois	01 03	04 06	07 09	10 12	13 15	16 18	19 21	22 24	25 27	28 30	31 33	34 36	37 39	40 42
Etape 1-Bibliographie														
Recherche bibliographique sur les méthodes de vulnérabilité	XXX	X	XXX											
Analyse des méthodes classiques (EMS98, RiskUE)		X	XXX	XXX	XXX									
Appropriation des méthodes de datamining (ARL et SVM)				XXX	XXX	XXX	XXX							
Etape 2-Modélisation-tests														
Modélisation des réponses sismiques par datamining					XXX									
Test de sensibilité (nb de paramètres, qualité de l'échantillon ...)					XXX	XXX	XXX	XXX	XXX					
Identification des paramètres les plus pertinents (INSEE, MAJIC, Satellite...)							XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX		
Etape 3-Couplage aléa														
Sélection de modèles de prédiction du mouvement du sol (GMPE)	XXX								XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Conversion mouvement du sol - intensité (GMICE)	XXX								XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Simulation du mouvement du sol (shake-map) et des dommages associés									XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Tests de sensibilité et identification des incertitudes											XXX	XXX	XXX	XXX
Etape 4- Application														
Séismes caractéristiques (Alpes, Alsace, Pyrénées, Méditerranée...)			XXX											
Ecoles de Grenoble														
Rapports														
Rapports avancement				X				X				X		
Rapport final														M45

Rapport synthétique 2012-2015

Analyse de la vulnérabilité du bâti existant. Estimation et réduction des incertitudes dans l'estimation des dommages et des pertes pour un scénario sismique donné

Candidat PhD: Ismael Riedel (ISTerre, France)
email: ismael.riedel@ujf-grenoble.fr
Superviseur: Philippe Gueguen (ISTerre, France)

Mots Clés: Vulnérabilité sismique; Aléa modéré; bâtiment existant; dégâts prévus; évaluation à grande échelle; incertitude; Europe.

1. Résumé

Les tremblements de terre sont certainement les aléas naturels les plus meurtriers, préjudiciables à nos sociétés et toujours imprévisibles. L'observation des effets des séismes sur les économies des pays et sur les populations nous amène à des chiffres considérables: les tremblements de terre modernes qui se sont produits ces dernières années ont coûté des dizaines de milliards de dollars et provoqué en moyenne plus de 35 000 victimes par an dans le monde (source USGS). Une relation de cause à effet est que la forte augmentation des populations en zone urbaine de ces dernières décennies expose de plus en plus de personnes aux aléas naturels, et en particulier aux séismes.

À l'échelle de la France, même si l'aléa sismique est faible par rapport à d'autres régions du monde, la population et les enjeux économiques exposés ont également augmenté de façon constante et significative au cours du siècle dernier. On constate Fig. 1 qu'un grand nombre de français est exposé à un aléa sismique fort. D'autre part, la vulnérabilité des constructions est en général considérée comme étant élevée.

Le montant des pertes évaluées après les tremblements de terre d'intensité modérée à forte de ces dernières décennies (Espagne, Nouvelle Zélande, Italie...) a fait apparaître une demande croissante d'analyses détaillées du risque sismique afin de renforcer la préparation en amont et mieux planifier la réponse après le séisme. Ces évaluations nécessitent non seulement l'estimation de l'aléa sismique, mais aussi la représentation de la capacité des structures à résister au mouvement sismique: tel est l'objectif des évaluations de la vulnérabilité sismique.

En raison de la complexité inhérente à l'estimation de l'aléa, des vulnérabilités et de leur interaction, la quantification du risque sismique est une tâche ardue. Estimer de façon pertinente les conséquences ne peut se faire que de façon globale via des méthodes probabilistes, intégrant dans nos modèles les incertitudes inhérentes au phénomène. L'estimation de la vulnérabilité sismique des bâtiments à l'échelle urbaine, certainement l'élément clé à toute évaluation du risque, est elle-même une tâche longue, coûteuse et compliquée, en particulier dans les régions où l'aléa sismique est modéré puisque la mobilisation de ressources nécessaires à l'évaluation est réduite alors même que le risque n'est pas négligeable.

Ce rapport synthétique reprend les éléments publiés dans la thèse de doctorat soutenue par Ismael Riedel à l'université de Grenoble, financée par la Fondation MAIF. Nous présentons dans cette version allégée une synthèse des résultats les plus marquants, reprenant l'organisation du document d'origine. Ce dernier est fourni en annexe à ce document.

Après la présentation de l'état de l'art des modèles d'estimation de pertes, nous proposons dans la première partie du manuscrit de thèse une solution permettant d'effectuer une estimation rapide de la vulnérabilité à l'échelle d'une région. Elle s'appuie sur des données élémentaires qui sont facilement collectées et disponibles au niveau régional, en tout cas plus que celles habituellement exigées pour appliquer les méthodes traditionnelles. En considérant les données décrivant les constructions de Grenoble (France) et la vulnérabilité selon l'échelle EMS98, nous avons développé des proxies de vulnérabilité par deux techniques de fouille de données différentes - *Association Rule Learning et Support Vector Machine*. Les proxies ainsi obtenus ont été appliqués à la France en utilisant les informations disponibles dans les bases de données nationales (information de recensement INSEE) et certaines informations extraites des images satellites et des photographies aériennes. Nous avons ainsi obtenu une carte de la vulnérabilité à l'échelle nationale. Cette méthode macroscopique est facilement applicable même si nous manquons d'informations décrivant les caractéristiques structurales d'un parc immobilier.

La deuxième partie de ce travail est dédiée au calcul des pertes liées aux tremblements de terre et à l'analyse et à la réduction des incertitudes inhérentes au processus. La comparaison des mouvements du sol et des intensités prédites et observées en France est abordée, et les équations de prédiction qui produisent les plus petits résidus sont testées. Pour quelques scénarios de tremblement de terre, nous calculons ensuite le nombre probable de bâtiments endommagés dans une ville européenne typique. L'analyse exhaustive des incertitudes est réalisée, et l'incertitude combinée de chaque étape du processus est calculée. Les principales sources de variabilité sont représentées et des recommandations sur la façon de les réduire efficacement sont proposées.

Dans la dernière partie, l'évolution des dommages et des risques est examinée en supposant qu'une politique de renforcement est engagée. L'évaluation des pertes économiques est effectuée pour la France en utilisant des cartes d'aléa réglementaires et cela pour différentes périodes de retour. En particulier, cinq villes françaises sont considérées et le modèle de perte proposé est utilisé pour concevoir un plan de renforcement et de modernisation du parc immobilier via des études coût-bénéfice. Plusieurs stratégies de renforcement sont envisagées. Enfin, des scénarios d'investissements sont calculés, qui peuvent servir d'appui aux choix stratégiques à avoir pour la réduction du risque sismique en France.

2. Modèles d'estimation de dommages sismiques. Présentation et état de l'art.

Ce chapitre avait pour objectif une présentation générale des méthodes d'estimation des dommages sismiques, leur fonctionnement, les paramètres requis, les limites d'application, les résultats possibles. La deuxième partie de ce chapitre est dédiée à l'état de l'art des modèles existants. et les principales méthodologies sont discutées.

Un modèle d'estimation de dommage est un outil utilisé pour évaluer les pertes potentielles dues à la réalisation d'un aléa (naturel ou autre), différents selon que sont traités les inondations, les tempêtes ou encore les séismes. Suite à plusieurs

catastrophes naturelles très coûteuses en Europe, à l'ouragan Andrew en 1992 (\$26.5 milliards de pertes) et au séisme de Northridge en 1994 aux Etats Unis (\$40.0 milliards de pertes) qui ont occasionné des pertes catastrophiques pour les assureurs et les réassureurs, cette industrie a reconnu rapidement l'utilité de tels modèles. Sur la base de croisements mathématiques entre les paramètres caractérisant le phénomène naturel lui-même et les informations concernant les éléments exposés, la modélisation du risque fournit des estimations a priori du dommage potentiel occasionné par un aléa. Les résultats produits intéressent aussi les acteurs locaux tels que les responsables de la planification et du développement urbain, les gestionnaires d'un nombre important de bâtiments ou d'autres structures, les responsables de la sécurité civile, ou encore les spécialistes en génie parasismique travaillant sur les normes de protection. Les modèles peuvent être ainsi utilisés pour l'analyse des éléments singuliers ou bien pour des analyses locales, régionales ou globales.

La Figure 2 illustre le principe des modèles d'estimation des dommages sismiques que nous avons considérés dans notre étude. Il présente les principaux facteurs et étapes intervenant dans ce type de démarche: la définition de l'aléa, la définition des enjeux et de leur vulnérabilité, le calcul des dommages physiques et le calcul des pertes économiques.

Cependant, dans les régions où l'aléa sismique est faible à modéré, les modèles de vulnérabilité et de pertes sont difficiles à obtenir parce que le niveau d'information (concernant à la fois l'aléa et l'exposition) est souvent limité. Puisque l'aléa sismique est moins important que d'autres aléas naturels ou industriels, il est extrêmement difficile de trouver la motivation économique et politique pour développer des modèles d'exposition et de vulnérabilité sismique. Le risque est néanmoins présent et non négligeable. Pour ces régions, d'autres méthodes doivent être développées: elles doivent être simples, transparentes, flexibles et applicables même si peu d'informations sont accessibles.

3. Évaluation de la vulnérabilité sismique des milieux urbains dans des régions à sismicité faible à modérée utilisant des techniques de fouille des données.

3.1 Les méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique

Une évaluation complète du risque sismique nécessite non seulement l'estimation de l'aléa sismique, mais aussi la représentation de la qualité des bâtiments existants et de leur réponse attendue: ceci définit la vulnérabilité sismique.

Les structures anciennes, conçues avant l'application des règles de conception parasismiques et présentes partout, constituent certainement l'élément clé contrôlant le nombre de victimes et les pertes économiques constatées après un séisme. Beaucoup de méthodes empiriques ont été publiées, la plupart d'entre elles calibrées sur des observations post-tremblements de terre, par jugements d'experts (ex. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti [GNDT], 1993; Hazus, 1997; Spence et Lebrun, 2006¹) ou directement dérivées d'une échelle d'intensité macrosismique (Lagomarsino et Giovinazzi, 2006). Des méthodes hybrides (Kappos et al., 2006) ou expérimentales (Michel et al., 2012) ont été proposées, complétant efficacement les méthodes empiriques.

Elles évaluent la probabilité d'atteindre un certain niveau de dommage pour une classe de bâtiments et une demande sismique donnée. Naturellement, elles doivent

¹ Les références sont données dans le manuscrit de thèse d'Ismael Riedel

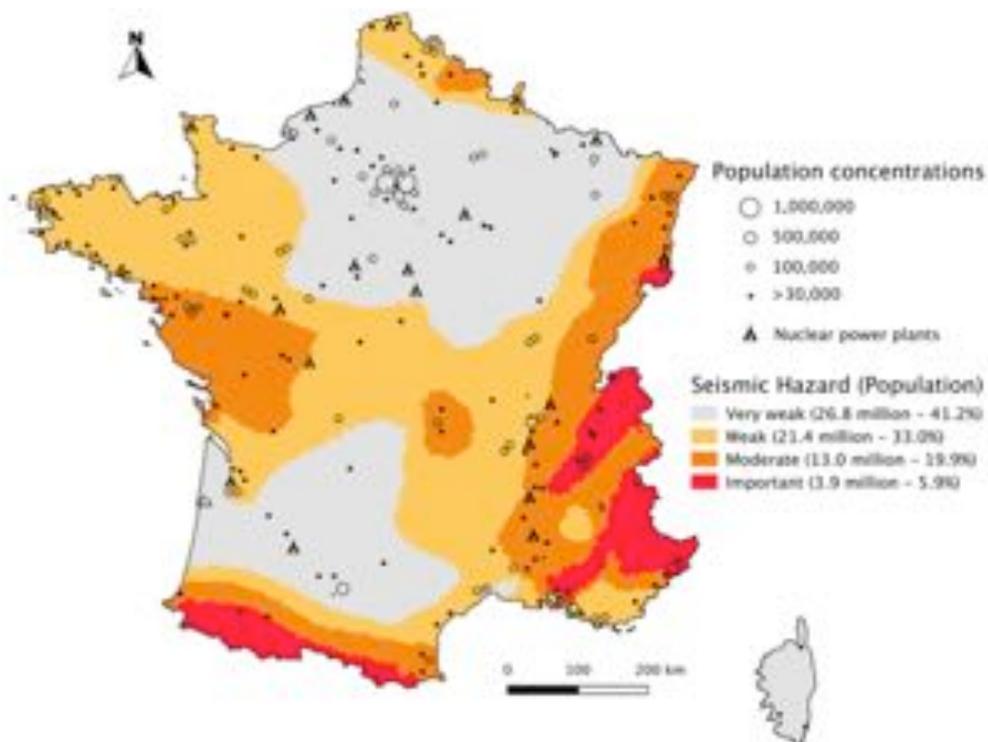


Figure 1. Carte de l'aléa sismique français et des populations urbaines exposées.

faire face à une quantité importante d'incertitudes. En plus, dans les régions à sismicité modérée ou faible, l'application des méthodes empiriques classiques exige tellement d'informations pour décrire les structures que les quelques initiatives peinent à trouver les ressources financières (et la motivation politique) suffisantes pour réaliser l'inventaire sismique des bâtiments.

Pour pallier le manque d'informations, nous proposons dans ce chapitre d'évaluer la vulnérabilité sans considérer les informations requises par les analyses conventionnelles, mais plutôt en utilisant celles déjà disponibles dans une région ou un pays (Figure 3). Deux techniques de fouille de données différentes, *Association Rule Learning* (ARL) (Agrawal et al., 1993) et *Support Vector Machine* (SVM) (Boser et al., 1992; Cortes et Vapnik, 1995), ont été appliquées pour définir des proxys de vulnérabilité: le principe est de relier par une relation empirique les caractéristiques élémentaires des bâtiments aux classes de vulnérabilité de l'échelle macrosismique européenne EMS98 (Grunthal et Levret, 2001). Elles suivent une procédure en deux étapes. La première étape (phase d'apprentissage) consiste à définir le proxy en utilisant un échantillon de bâtiments pour lesquels les caractéristiques structurales élémentaires (ou attributs) et les classes de vulnérabilité sont disponibles. La deuxième étape (la phase d'application) consiste à appliquer ces proxys à une région cible où les mêmes attributs élémentaires sont disponibles mais pas les classes de vulnérabilité.

Dans la première partie de ce chapitre, les données utilisées dans la première étape sont décrites. Elles correspondent aux données disponibles à Grenoble, l'une des villes de France les plus exposées à l'aléa sismique, et où une analyse approfondie de la vulnérabilité selon l'EMS98 avait été effectuée (Guéguen et al., 2007). Les méthodes ARL et SVM ont ensuite été présentées et appliquées au site test de Grenoble, dérivant ainsi deux proxys de vulnérabilité pour un milieu urbain similaire à celui de Grenoble. Dans la troisième partie de cette étude, les proxys de vulnérabilité ont été appliqués à l'ensemble du pays et validés par comparaison avec la méthode Risk-UE développée dans le cadre d'un projet européen et appliquée à Nice.

Enfin, les dommages probables produits par des séismes historiques français ont été analysés (séismes de Lambesc 1909, Corrençon 1962, Arette 1967).

3.2 Un nouveau regard sur les tremblements de terre historiques français. Leurs conséquences en 2015

Dans cette section, quelques tremblements de terre historiques en France ont été modélisés pour permettre (1) l'estimation des dommages si le même (ou similaire) tremblement de terre frappait aujourd'hui, en utilisant la vulnérabilité actuelle; (2) la validation du modèle sur la base des estimations des dégâts, en utilisant la vulnérabilité au moment du tremblement de terre. La Figure 4 montre les résultats pour la modélisation du séisme de Lambesc 1909 en utilisant le proxy développé à partir de SVM. On constate ainsi une augmentation du nombre de dommages, conséquence des modifications urbaines et du développement de cette région depuis 1909.

L'objectif principal de ce chapitre était de valider une méthodologie pour l'évaluation macroscopique de la vulnérabilité sismique, dans une situation où seulement quelques informations basiques décrivant les structures sont disponibles. L'idée d'utiliser des données facilement disponibles pour évaluer la vulnérabilité d'une région est évidemment d'un grand intérêt.

3.3. Conclusions

Les recensements nationaux, le traitement des images *satellite* ou des photographies aériennes, et les données cadastrales, sont des sources d'informations relativement accessibles à grande échelle, nous ayant permis de définir des relations de vulnérabilité (proxy).

La méthodologie proposée a été validée par comparaison avec la méthode Risk-UE à Nice. En considérant l'intensité macrosismique comme paramètre de mouvement du sol, notre méthode a permis de prédire des niveaux de dommages similaires à ceux fournis par la méthode Risk-UE.

Après avoir été validé à Nice, le proxy a été testé sur trois tremblements de terre historiques ayant causé des dommages en France. Même si les attributs décrivant les bâtiments sont très basiques, les analyses ont confirmé la pertinence de notre stratégie, en fournissant des estimations fiables des dommages.

En utilisant des techniques de fouille de données pour évaluer la vulnérabilité sismique, nous avons pu mettre en évidence certaines tendances, telle que la réduction en proportion du nombre de bâtiments vulnérables avec le développement de l'urbanisation. Nous avons également confirmé et quantifié les conséquences croissantes des tremblements de terre en termes de nombre de bâtiments endommagés, principalement en raison de l'explosion de l'urbanisation et des concentrations urbaines dans certaines zones sujettes à des risques sismiques. Ces éléments sont essentiels pour permettre l'évaluation des pertes économiques et humaines.

Par exemple, dans la région de Lambesc, si le tremblement de terre de 1909 avait lieu en 2008, il y aurait de graves conséquences en termes de pertes humaines et économiques: environ 430 bâtiments subiraient de graves niveaux de dégâts (D4 et D5), une douzaine de bâtiments seraient complètement détruits (D5), et plus de 9 400 bâtiments seraient caractérisés par des dégâts modérés (D2 et D3).

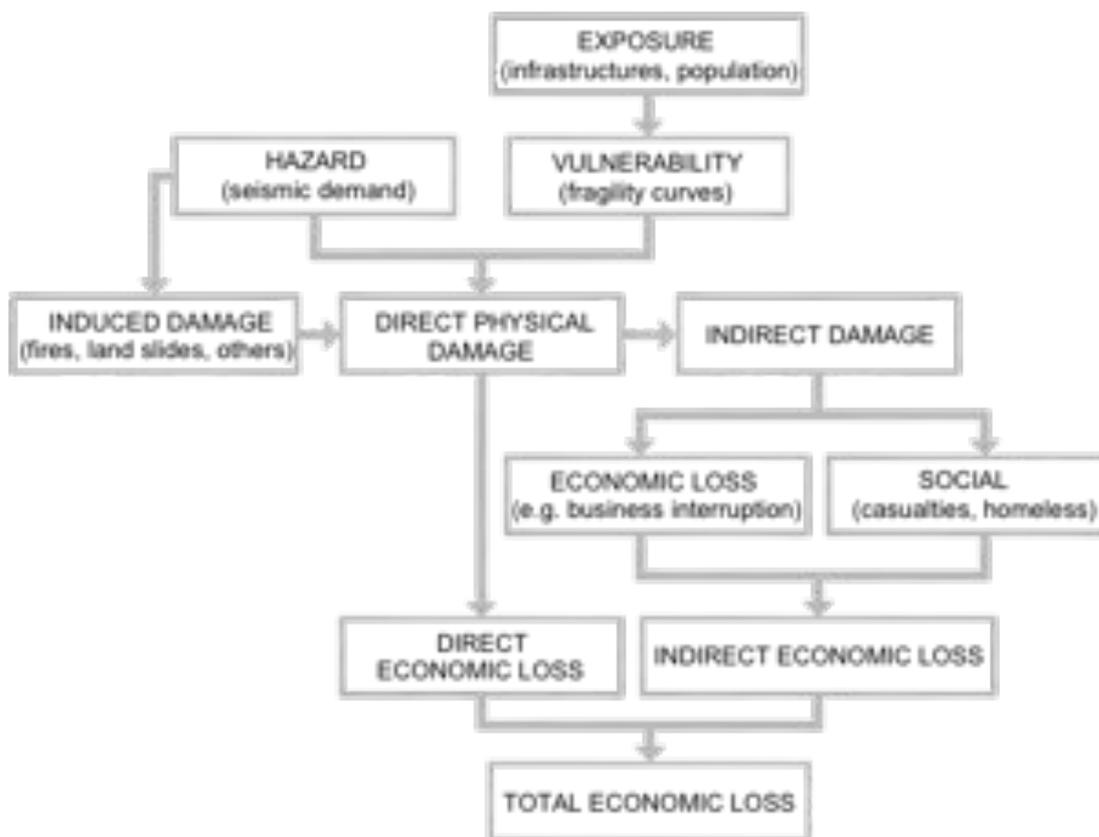


Figure 2. Organisation d'un modèle simplifié d'estimation de dommages sismiques (en anglais).

4. Analyse des pertes et analyse coût-bénéfice. Evaluation des investissements pour le renforcement des bâtiments en France.

Les tremblements de terre génèrent une large variété d'impacts économiques et humains. Ces effets peuvent être divisés (1) en pertes économiques directes, généralement mesurées en termes de dommages aux constructions et de leur valeur, de perte de stock des entreprises, de blessures et de décès; et (2) en pertes économiques indirectes, telles que l'interruption d'activité, les frais de réinstallation, les pénuries d'approvisionnement induites par le tremblement de terre, la réduction de la consommation des produits et la baisse des revenus. Il peut y avoir également des effets cascades sur toute l'économie. Des pertes indirectes peuvent se produire dans des secteurs économiques qui n'ont pas subi de dommages directs (Brookshire et al., 1997). Plus récemment, des effets indirects sociologiques et psychologiques ainsi que les impacts potentiels sur l'environnement ont été étudiés, mais à ce jour, il y a eu peu d'études exhaustives menées après un séisme (Whitehead et Rose, 2009).

Pour obtenir une mesure cohérente, la perte économique est reliée à l'état d'endommagement converti en unité monétaire (en dollars). Estimer des impacts économiques réalistes s'avère être une tâche très compliquée, et en raison du grand nombre d'incertitudes à chaque étape du processus, seule une représentation globale peut être donnée.

L'estimation des pertes éventuelles est essentielle pour les responsables de la planification urbaine, de la défense civile, pour le secteur de l'assurance et de la réassurance, et potentiellement aussi pour les comités de rédaction des codes sismiques (Bommer et Crowley, 2006). Après les événements, les secours peuvent aussi bénéficier d'une estimation rapide des dégâts et des pertes attendues (So et Spence, 2012).

Plusieurs modèles d'estimation des dommages sismiques sont disponibles dans la littérature. Ils proposent l'évaluation probable des dommages, des pertes ou plus généralement l'estimation du risque avant ou après un événement sismique (par exemple HAZUS, GEM, CAPRA, PAGER). Cependant, le traitement des incertitudes n'est généralement pas clairement défini, voir même non considéré de façon complète.

Ce chapitre du manuscrit de thèse présente dans une première partie une analyse exhaustive des incertitudes pour un modèle d'estimation des dommages déterministes et semi-empiriques compatibles au contexte sismique Européen, et plus particulièrement au contexte de sismicité et de vulnérabilité français. Tout d'abord, trois équations de prédiction de mouvement de sol (GMPEs) sont testées à des données instrumentales françaises. La comparaison entre le mouvement du sol prédit et observé est faite, et on identifie l'équation donnant les plus faibles résidus. De la même manière, les intensités observées et calculées en utilisant différentes équations comme les équations de conversion en intensité (GMICE) et les équations de prédiction directe en intensité (IPE) sont testées. Une quinzaine de tremblements de terre français sont considérés. L'estimation complète (depuis la magnitude et la distance du tremblement de terre) du nombre probable de bâtiments endommagés dans une ville européenne typique est présentée dans une deuxième partie. Une analyse détaillée des incertitudes est réalisée à chaque étape, et l'incertitude finale combinée est calculée.

La dernière partie est consacrée à l'étude de cas particuliers, comme l'évolution des dommages et des risques lorsque des améliorations structurales sont effectuées aux bâtiments. Nous présentons également des analyses coût-bénéfice associées à des stratégies de renforcement.

4.1 Des tremblements de terre aux dommages. L'analyse des incertitudes

Nous proposons dans cette section une méthode pour prédire les dommages probables aux bâtiments pour différents scénarios de séismes. L'analyse des incertitudes à chaque étape est réalisée. D'après l'approche présentée dans Riedel et al (2014), l'information d'entrée de l'aléa sismique est le niveau d'intensité macrosismique, et la réponse des bâtiments est définie selon la classification de la vulnérabilité de l'échelle EMS-98 (classe de vulnérabilité A à F) (Grunthal et Levret 2001). La Figure 5 présente le processus suivi dans ce travail.

Neuf scénarios de séismes sont considérés, de magnitude Mw 5, 6 et 7 à des distances de 10, 50 et 100 km. A partir de ces tremblements de terre, nous estimons l'intensité instrumentale soit directement en utilisant les équations IPE, soit en utilisant une combinaison de GMPE pour estimer l'accélération et de GMICE pour la convertir en intensité. Nous analysons ensuite l'évolution des incertitudes dans l'estimation des intensités calculées suivant ces deux démarches.

Nous avons montré que les incertitudes contenues dans l'estimation des dommages sont très importantes. Les valeurs des écart-types peuvent être du même ordre de grandeur que les valeurs moyennes. D'après nos résultats (voir rapport complet), il est clair que l'utilisation d'une combinaison de GMPE et GMICE produit une variabilité plus grande que si nous utilisons directement une IPE. Cette tendance est particulièrement nette pour les intensités moyennes de plus de V. De toute évidence,

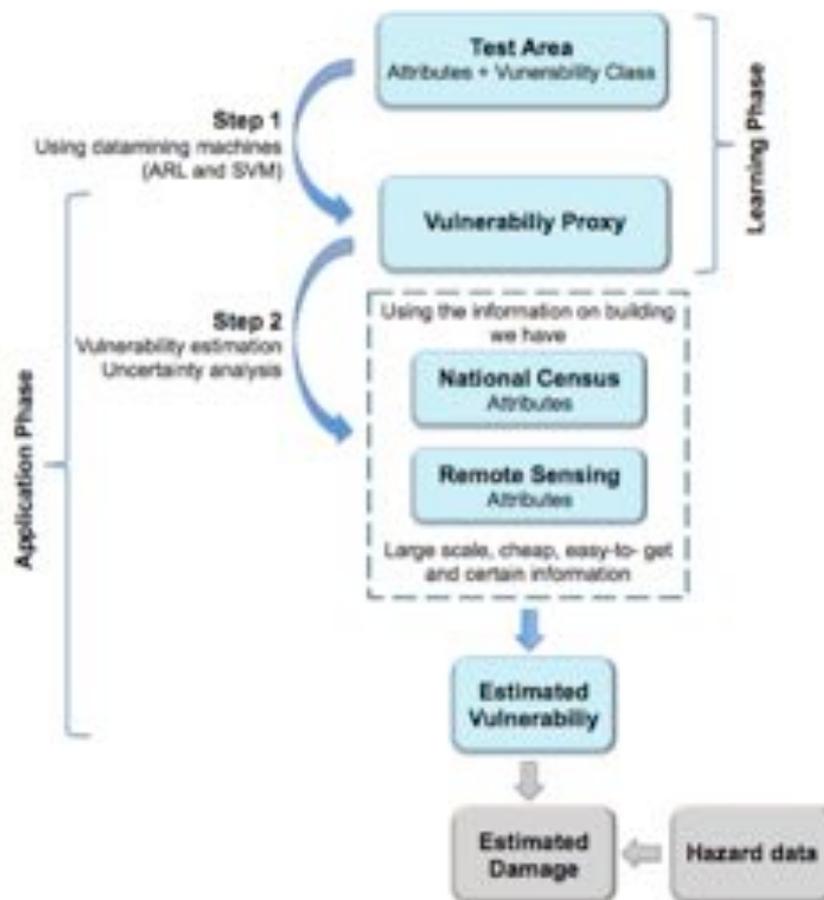


Figure 3. Processus en deux étapes. Au cours de la phase d'apprentissage, un proxy de la vulnérabilité est déduite à partir d'une zone de test pour laquelle une évaluation complète de la vulnérabilité sismique est disponible. Dans la deuxième étape, le proxy est appliqué à une grande région où seuls certains attributs sont disponibles pour estimer les vulnérabilités. Une dernière étape combine la vulnérabilité estimée avec informations sur l'aléa pour déduire les dommages probables

ces méthodes (GMPE+GMICE) combinent l'incertitude liée à l'estimation du PGA à celle liée à la conversion en intensité, ce qui fait croître l'écart-type total.

Nous avons également analysé la contribution de chaque source de variabilité à la variabilité finale observée dans l'estimation des dommages. Nous mettons en évidence les étapes ayant l'impact le plus grand sur l'incertitude cumulée finale. D'après nos résultats, la variabilité de l'estimation de l'aléa sismique probable (en intensité) a une influence plus importante que celle inhérente à l'estimation de la vulnérabilité des bâtiments. Cela implique qu'un plus grand effort devrait être consenti à la définition précise des intensités, ceci nous permettant de réduire l'incertitude totale des dommages et des pertes d'une façon significative.

4.2 Estimations des pertes probables en France

Nous avons effectué dans cette section l'estimation des pertes pour la France. L'aléa sismique probable est donné par les normes françaises tandis que la

vulnérabilité des structures est calculée en appliquant le proxy de Grenoble dérivé du

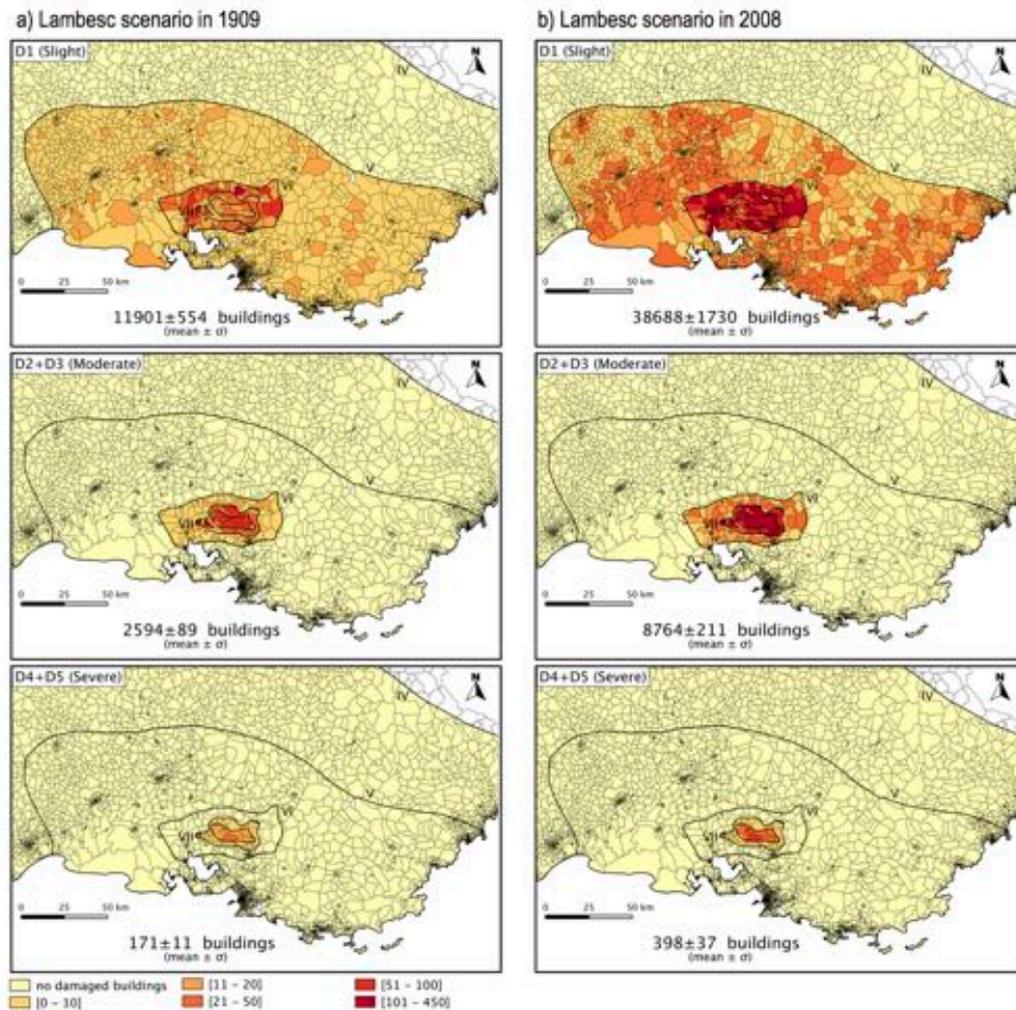


Figure 4. Évaluation du niveau des dommages pour le tremblement de terre scénario de Lambesc considérant a) l'urbanisation en 1909 (colonne de gauche) et b) l'urbanisation en 2008 (colonne de droite). La vulnérabilité est estimée par le proxy obtenu à partir de SVM. Les dommages sont regroupés en trois niveaux: légers D1 (rangée du haut), modérés D2 + D3 (rangée du milieu) et sévères D4 + D5 (rangée du bas) définis selon l'échelle de dommages de EMS98. L'échelle de couleur donne le nombre de bâtiments pour chaque niveau de dommage. Le nombre total de bâtiments endommagés prévus pour l'ensemble de la région est aussi indiqué (moyenne et écart-type).

Support Vector Machine (SVM).

Les accélérations réglementaires ont été calculées pour différentes périodes de retour et converties en intensité. Avec cet aléa réglementaire, nous avons calculé les pertes directes pour toute la France et pour les trois périodes de retours (Figure 6, 7 et 8). Cette information est intéressante car elle nous donne des ordres de grandeur des dommages et donc des pertes pour l'aléa sismique défini réglementairement, c'est-à-dire exprimé en terme de période d'observation et de probabilité d'occurrence. Cette information est essentielle si l'on souhaite proposer des modèles permettant d'évaluer l'impact d'une stratégie de renforcement sur une période d'investissement donnée et pour un risque acceptable

4.3 Les effets de l'amélioration du parc immobilier (études coût/bénéfice)

Puisque rien ne peut être fait pour éviter que les tremblements de terre ne se produisent, c'est sur l'amélioration des constructions que nous devons chercher des solutions afin de réduire le risque. La définition des actions, leur efficacité et le retour sur investissement sont des informations cruciales pour les décideurs et pour l'industrie de l'assurance. Ces estimations servent à mieux cibler les efforts et à quantifier les travaux qui seraient nécessaires pour obtenir l'amélioration souhaitée, avec comme objectif cible la réduction des coûts.

Dans cette section, nous proposons plusieurs scénarios hypothétiques de renforcement de bâtiments à grande échelle, pour différents coûts d'investissement, appliqués à cinq villes en France. Les bénéfices en terme de réduction des dommages potentiels sont comparés avec les coûts de chaque scénario de renforcement.

Nous représentons l'amélioration physique d'un bâtiment comme un changement de classe de vulnérabilité vers les moins vulnérables. La valeur monétaire de cette mise à niveau a été calculée à partir de plusieurs documents, comme les rapports FEMA 156 et 157 qui donnent des coûts standards de renforcement de bâtiments aux Etats Unis, et une étude de présomption de vulnérabilité sismique et de pertinence du renforcement sur des bâtiments de Lourdes (65).

La Figure 9 montre sur un exemple (avec des valeurs arbitraires) comment les résultats sont représentés dans ce travail. La courbe sur la gauche représente la perte économique attendue en pourcentage de la valeur totale du parc immobilier de la ville et en fonction des coûts de renforcement (investissement). La moyenne et un écart-type sont indiqués. La valeur à l'origine (0,0% des investissements) correspond à la perte attendue dans la ville d'origine (de référence). Les lignes verticales pointillées orange indiquent le niveau des investissements à réaliser pour qu'aucun bâtiment avec des dommages de grade D4 ou D5 ne soit observé. Cette information est importante puisque ces niveaux de dommage ont une corrélation directe avec le nombre attendu de victimes. Ces investissements peuvent cependant ne pas être attractifs pour un décideur ou un investisseur d'un point de vu purement économique.

Pour être en mesure de comparer et de décider si un investissement est intéressant (ou pas) d'un point de vue exclusivement économique, le coût de l'investissement est ajouté à la perte moyenne que l'on attend pour un scénario de renforcement. Cette valeur de coût total est tracée en fonction de l'investissement à droite de la Figure 9. Si la réduction des pertes moyennes attendues est plus grande que le coût de l'investissement nécessaire, la valeur totale sera plus petite que la perte attendue pour la ville d'origine (sans renforcement). Dans ce cas, on peut dire que l'investissement est avantageux. Ces coûts ont des valeurs plus petites que celles à l'origine correspondant à 0,0% d'investissement (ville d'origine). La plage des valeurs d'investissement "rentables" est indiquée à droite de la Figure 8 (*cost-effective*). Le point d'investissement qui minimise la valeur ajoutée (investissement + perte correspondante) est la valeur économique optimale. Cette valeur d'investissement est appelée la valeur optimale, car elle maximise les économies faites quand on considère tous les scénarios de renforcement.

Les économies moyennes obtenues pour chaque scénario de renforcement rentables peuvent être calculées comme la différence entre la valeur ajoutée à l'origine et la valeur ajoutée de l'investissement correspondant. Si l'investissement est trop grand par rapport à la réduction de la perte moyenne qu'il provoque, le montant total sera plus grand que la perte initiale et il ne serait pas économiquement rentable de renforcer les constructions. Dans ces cas, il est tout simplement préférable de laisser

les tremblements de terre se produire, et réparer ou remplacer les bâtiments endommagés par la suite.

Il est important de rappeler que les analyses coût-bénéfice effectuées ici et les investissements dits optimaux ne sont basées que sur des considérations économiques, pas humaines ni sociologiques.

4.4. Analyse coût/bénéfice pour plusieurs villes françaises

Dans cette section, nous avons effectué l'analyse coût-bénéfice du renforcement à grande échelle de cinq villes françaises suivant la méthodologie présentée dans les sections précédentes.

A Grenoble, les pertes directes et totales prévues en pourcentage de la valeur totale du parc immobilier de la ville et en fonction du coût de l'investissement, ainsi que les courbes coût-bénéfice, sont présentées Figure 10. Les pertes sont estimées pour trois niveaux d'aléa sismique: 475, 95 et 47 ans de période de retour.

Nous avons effectué une synthèse des informations disponibles auprès des agences immobilières et notariales afin d'obtenir la valeur totale du parc immobilier grenoblois. Dans l'ensemble, Grenoble est composée de bâtiments résidentiels pour une valeur d'environ € 10,2 milliards. Comme nous avons choisi de donner la valeur des pertes en pourcentage de la valeur du parc immobilier, les pertes et les investissements calculés peuvent maintenant être traduits en valeur monétaire (Euros).

Un niveau d'aléa sismique correspondant à 475 ans de période de retour (10% de probabilité sur 50 ans) générerait des pertes directes moyennes de €1,3 milliard à Grenoble, tandis que l'investissement optimal (€ 510 millions) produirait des économies moyennes de €295 millions.

Pour un aléa sismique ayant 10% de probabilité de dépassement sur 10 ans (95 ans de période de retour), les pertes directes initiales atteindraient €470 millions. Un investissement de €51 millions produirait des économies optimales moyennes de €62 millions.

Pour le niveau d'aléa sismique correspondant à 47 ans de période de retour (10% de probabilité sur 5 ans), les investissements nécessaires au renforcement des structures ne seraient pas rentables. Ce niveau d'aléa produirait des pertes directes moyennes de €77 millions.

4.5 Conclusions

Nous avons présenté une méthodologie pertinente pour évaluer les dommages sismiques et les pertes économiques éventuelles en milieu urbain. Nous avons utilisé les niveaux d'aléa sismique donnés par la réglementation française. La vulnérabilité des bâtiments est calculée en utilisant nos proxies de vulnérabilité.

L'estimation du risque sismique dans ce travail n'est pas exhaustive. Pour des évaluations de pertes potentielles mieux ciblées, des courbes d'aléa provenant des évaluations probabilistes complètes (PSHA) auraient dû être utilisées. La méthodologie proposée dans ce travail peut facilement intégrer ces courbes sans modifications ni efforts importants. Les résultats peuvent également être améliorés si nous considérons un mouvement du sol variable d'un point à l'autre de la ville, produit par exemple par la présence d'effets de site. Cependant, nous avons choisi de respecter la carte d'aléa nationale afin de représenter sur une base commune et compréhensible l'aléa et donc les conséquences économiques.

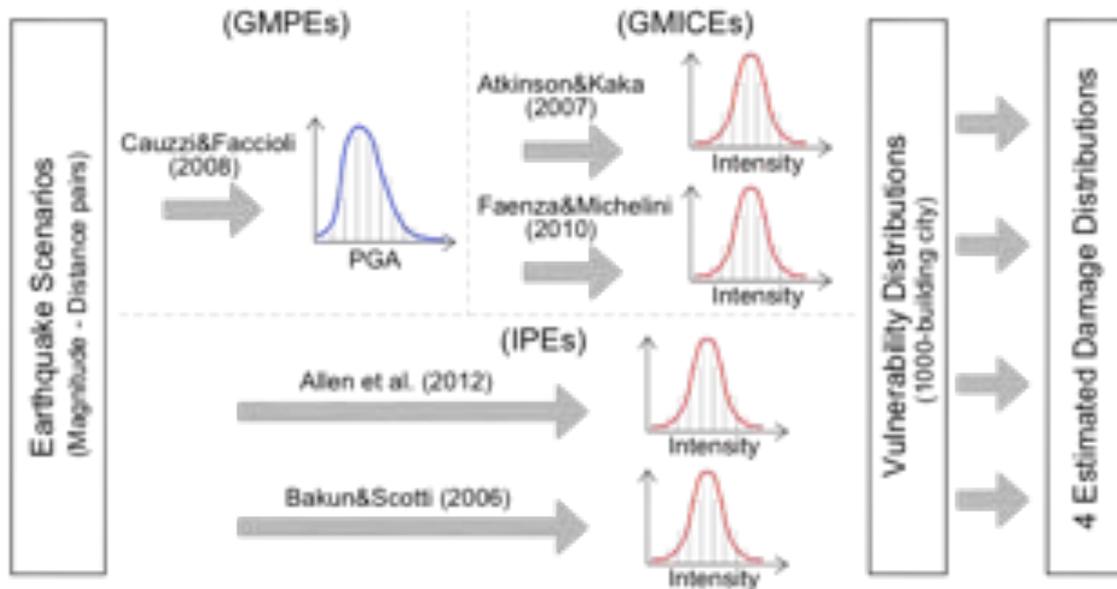


Figure 5. Représentation décrivant les différents chemins empruntés dans ce travail pour estimer les dommages causés par neuf scénarios (magnitude et distance du séisme). L'approche présentée dans Riedel et al. (2014) est appliquée pour estimer les dommages causés par quatre distributions d'intensité macrosismique dans une ville fictive de 1000 bâtiments avec différentes distributions de vulnérabilité.

Pour les niveaux d'aléa sismique réglementaires de 475 ans de période de retour, nous avons estimé une perte directe moyenne de €1,3 milliard et totale de environ €2,1 milliards à Grenoble. Pour les mêmes niveaux d'aléa nous avons prédit à Nice respectivement €5,5 milliards et €7,5 milliards de perte directe et totale moyennes, à Lourdes €207 millions et €280 millions, à Nantes €2,9 milliards et €3,5 milliards et enfin à Strasbourg, €1,7 milliards et €2,1 milliards.

Pour un niveau d'aléa de 95 ans de période de retour, une perte directe moyenne de €470 millions et une perte totale moyenne d'environ €560 millions ont été prédites à Grenoble, €2,1 milliards et €2,5 à Nice, €80 millions et €95 millions à Lourdes, €490 millions et €530 millions à Nantes et €280 millions et €305 millions à Strasbourg.

Pour un niveau d'aléa de 10% de probabilité de dépassement sur 5 ans (47 ans de période de retour), les pertes totales s'élèvent à €77 millions à Grenoble, €340 millions à Nice, €14 millions à Lourdes, €490 millions à Nantes et €280 millions à Strasbourg.

Toutes ces valeurs sont bien entendues des valeurs moyennes. Il y a une grande incertitude dans l'estimation des pertes, avec des facteurs de variabilité de l'ordre de ± 2 de la valeur moyenne.

Nous avons proposé plusieurs scénarios hypothétiques de renforcement de bâtiments à grande échelle pour ces 5 villes. Le coût pour améliorer la résistance sismique des structures a été quantitativement comparé aux pertes potentielles évitées. Les résultats de ces analyses coût/bénéfice ont suggéré que, même lorsque l'on considère seulement les pertes directes, et d'un point de vue purement économique, des actions de renforcement pourraient être souhaitables pour les plus longues périodes de retour dans les villes exposées aux taux de sismicité les plus forts de France.

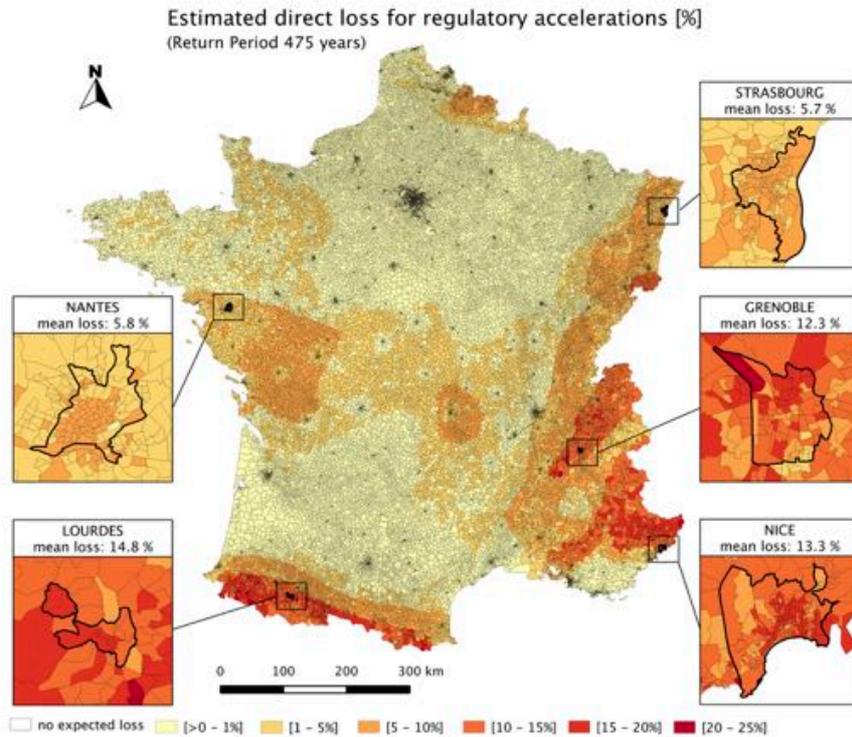


Figure 6. Perte directe prévue pour des accélérations réglementaires correspondant à 475 ans de période de retour. Les pertes sont données par îlot IRIS et en pourcentage de la valeur total du parc immobilier dans chaque unité IRIS en France métropolitaine. La perte directe moyenne de cinq villes françaises est indiquée.

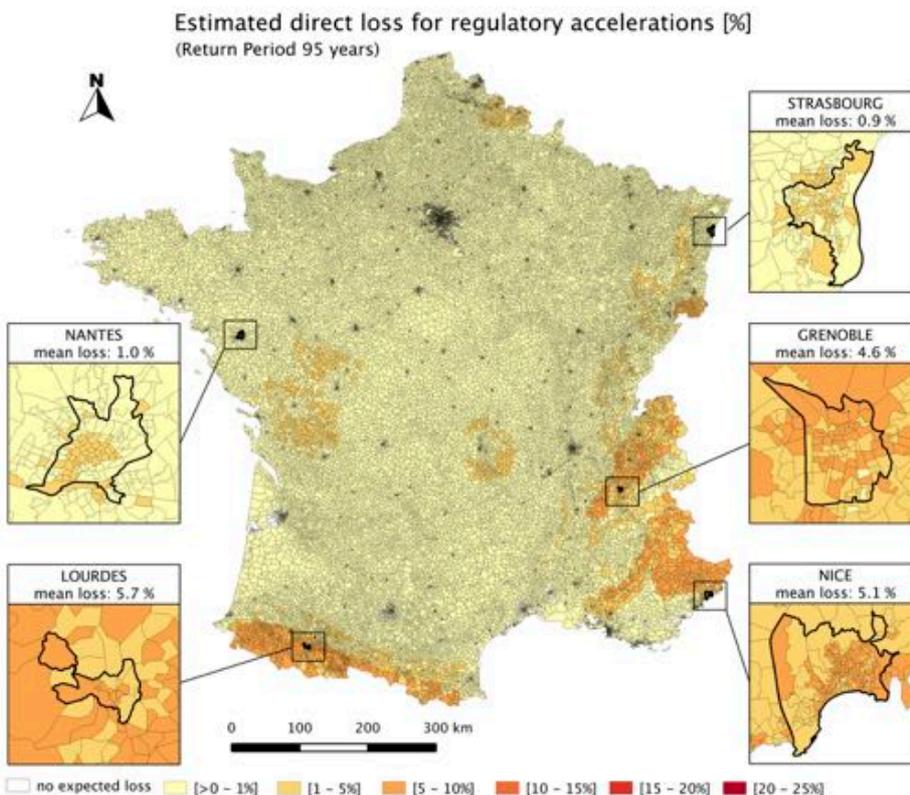


Figure 7. Idem Figure 6 pour des accélérations réglementaires de 95 ans de période de retour.

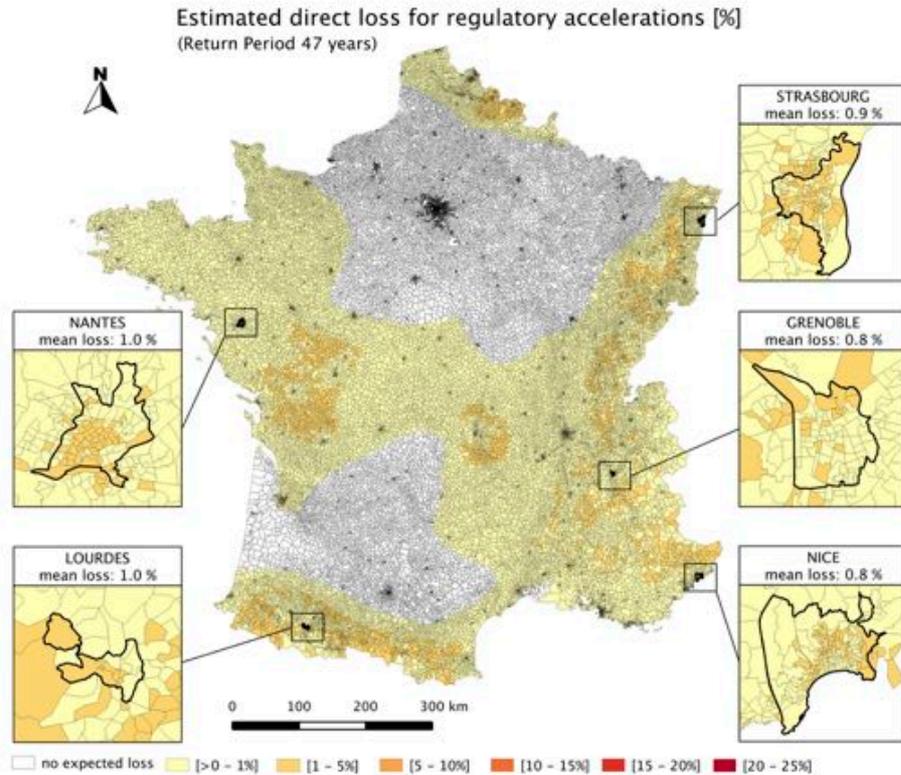


Figure 8. Idem Figure 6 pour des accélérations réglementaires de 47 années de période de retour.

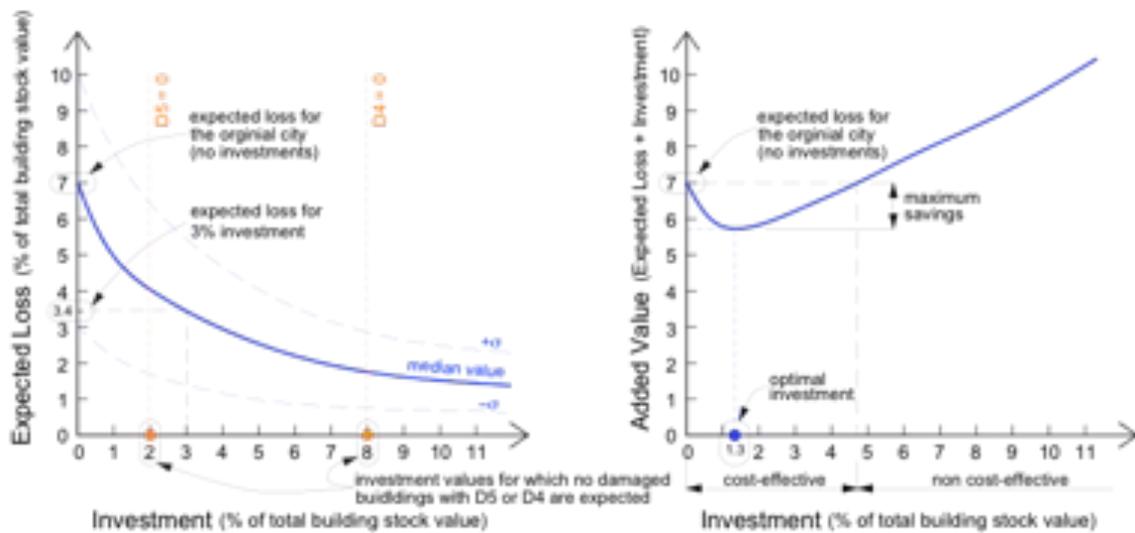


Figure 9. Figure explicative. Perte économique potentielle en fonction de l'investissement pour un scénario d'aléa sismique donné. La perte et l'investissement en pourcentage de la valeur totale du parc immobilier de la ville (à gauche). Courbe coût/bénéfice correspondant (à droite).

5. Conclusions générales et perspectives.

Au cours de la dernière décennie, des centaines de milliers de personnes ont trouvé la mort dans des tremblements de terre. La tragédie humaine est inestimable, et la perte économique globale a atteint des proportions impressionnantes. Dans les premiers mois suivant le séisme en Haïti de 2010, où plus de 242 000 personnes ont perdu la vie et 2,3 millions sont restées sans-abri, la réponse internationale a inondé un gouvernement affaibli et incapable de prendre en charge la coordination des efforts de secours.

Le même scénario s'est reproduit à plusieurs reprises après de nombreuses catastrophes naturelles à travers le monde: nous ne sommes pas prêts! Nous avons besoin de mieux comprendre le comportement et les conséquences des tremblements de terre. Nous devons réduire le risque sismique, améliorer notre préparation à subir des catastrophes, augmenter ainsi la résilience de la société aux événements sismiques et surtout, agir en amont afin d'éviter les victimes.

Les sociétés exposées ne sont pas seulement situées dans des régions à très fort aléa sismique. Beaucoup de pays d'Europe centrale sont situés dans des régions exposées à un aléa faible à modéré. Dans ces pays, le parc immobilier est majoritairement vieux, et il a été construit avant le développement des règles de conception parasismique, ou en utilisant des règles considérées désormais comme obsolètes. Le tremblement de terre à L'Aquila (Italie) en 2009, a montré aussi que les bâtiments anciens peuvent subir des pertes significatives même pour des niveaux d'aléa inférieurs à ceux donnés dans les règlements sismiques actuels. Certains nouveaux bâtiments, apparemment conçus pour résister à ces niveaux, n'ont pas non plus été épargnés.

Nous avons fourni dans ce travail une méthodologie pour estimer les conséquences des séismes dans des régions où la sismicité est faible à modérée. Ces modèles, à la fois simples, abordables et performants, donnent un éventail d'informations pertinentes et très importantes pour les décideurs, les responsables de la gestion du risque ou tout simplement pour les personnes concernées. Malheureusement, chaque étape de la chaîne d'analyse qui permet l'estimation des pertes sismiques présente des incertitudes: la définition de l'aléa, la définition de l'exposition, la définition des relations de dommages ou de vulnérabilité, ainsi que la définition des pertes économiques.

Dans la première partie de ce travail, nous avons développé une méthodologie pour estimer la vulnérabilité sismique des bâtiments à grande échelle en utilisant des techniques de fouille de données. Cette méthode donne un proxy, qui établit une relation entre des caractéristiques basiques des structures et leur classe de vulnérabilité probable. Ce proxy est facilement applicable et généralisable aux données disponibles et il est particulièrement utile lorsque les méthodes traditionnelles ne peuvent pas être facilement appliquées. Même si il a été conçu pour des évaluations de premier ordre, plusieurs validations par comparaison avec des méthodes plus détaillées ou sur des séismes récents ou historiques ont montré la pertinence de notre stratégie et son efficacité.

Il serait néanmoins intéressant et instructif de développer des proxies avec des données provenant de pays différents, les comparer et, par exemple, créer des proxies nationaux ou globaux en les combinant de façon pondérée. Pour atteindre cet objectif, nous avons déjà demandé des données de vulnérabilité à plusieurs organisations européennes. En outre, la Banque mondiale semble intéressée pour appliquer notre démarche dans des pays d'Amérique du Sud et des Caraïbes, où les ressources sont limitées.

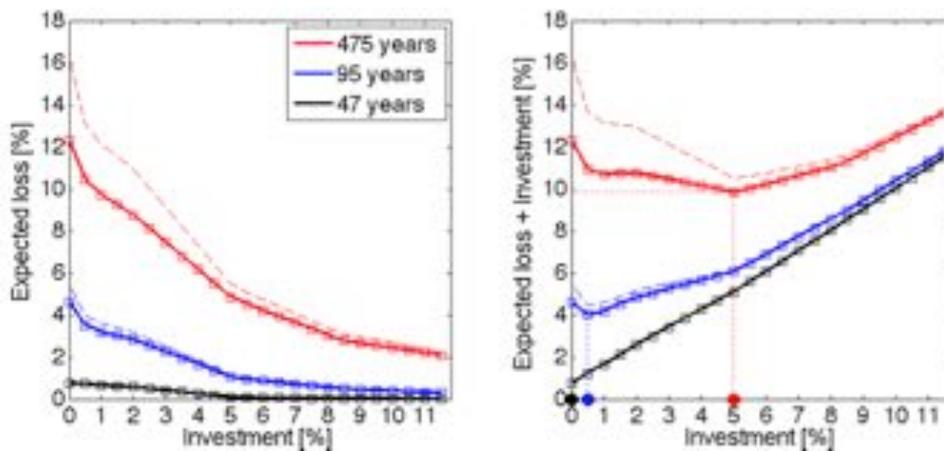


Figure 10. Perte moyenne directe et totale attendue pour la ville de Grenoble. Perte en fonction des investissements (renforcement) à gauche. Courbe coût-bénéfice à droite. Les pertes directes sont lignes continues et les pertes totales en lignes pointillées. Les estimations sont données pour des niveaux d'aléa sismique de 475 ans de période de retour (lignes rouges), 95 ans (lignes bleues) et 47 ans (ligne noire). Les investissements optimaux pour 475, 95 et 47 ans de période de retour sont respectivement indiqués par les points rouge, bleu et noir sur l'axe des x.

L'évaluation de la vulnérabilité du milieu urbain français actuel a permis la détermination des effets probables, en terme de dommage sismique, que ces régions subiraient si des événements historiques frappaient à nouveau. Le dommage devrait doubler voire tripler en nombre de bâtiments par rapport aux observations faites à l'époque des séismes. L'évaluation de la perte économique probable pour une répétition du séisme M6.0 de Lambesc (1909) correspondrait à des pertes totales moyennes de l'ordre de €6,2 milliards pour l'ensemble de la région touchée. Cette estimation ne tient compte que des dommages aux bâtiments d'habitation. Cette valeur devrait être beaucoup plus élevée puisque toutes les infrastructures (les routes, les ponts, les industries, les lignes de services publics, etc.) seraient également affectées et pourraient contribuer en grande proportion aux pertes totales.

Nous avons également effectué une estimation des pertes économiques et des analyses coût-bénéfice pour la France entière et, en particulier, pour cinq villes françaises en développant une approche semi-empirique fondée sur l'intensité macrosismique EMS98. La méthodologie proposée est peu coûteuse et facilement applicable quand peu d'informations permettent de caractériser l'aléa sismique régional et les caractéristiques structurales des bâtiments. Le modèle d'exposition est défini à partir des données existantes et la vulnérabilité sismique des bâtiments est calculée par fouille de données. Plusieurs scénarios de renforcement sont proposés avec différents coûts d'investissement. Nous soumettons alors ces villes à une série d'aléa sismique. L'aléa sismique a été calculé à partir des accélérations réglementaires françaises. Cet aléa permet une première estimation approximative des pertes directes et indirects probables pour des périodes de retour différentes.

Ces estimations montrent des coûts de réparation et de remplacement importants et cela pour différentes périodes de retour considérées. Les bénéfices en terme de dommages évités sont comparés aux coûts de chaque mesure de renforcement. Les tendances générales ont montré un déclin rapide des pertes

directes et totales moyennes probables après le renforcement des structures, en particulier pour les niveaux d'aléa les plus élevés. Des investissements relativement modestes de renforcement réduiraient la probabilité d'effondrement, ce qui est la cause principale des pertes en vies humaines. Les résultats de cette étude suggèrent que la modernisation est souhaitable (rentable) dans les zones françaises à plus forte sismicité et cela pour des périodes de retour longues.

Nous avons montré en cartes les zones qui devraient subir davantage les effets des séismes, soit parce qu'elles sont plus vulnérables, soit parce que la demande sismique est plus élevée à cet endroit, soit parce que les deux conditions sont réunies.

Nous avons examiné les incertitudes d'une manière globale. Les incertitudes combinées finales sont très grandes, et les résultats doivent être utilisés avec prudence. Avec notre méthode, l'estimation finale des dommages est plus sensible à la variabilité liée à l'aléa qu'à celle liée à l'estimation de la vulnérabilité sismique, ce qui nous amène à penser que la définition de l'aléa est la priorité si l'on souhaite préciser au mieux le risque sismique.

Les résultats de ce travail n'ont qu'une signification statistique et ils ne sont pas destinés à étudier le cas de structures particulières. Comme cela a été décrit, l'étude a été menée en utilisant certaines hypothèses simplificatrices. Certaines sont dues au manque d'information, d'autres à un souci de simplification afin de rester dans le cadre d'une analyse globale. Ce travail doit être considéré comme une première étape qui peut être améliorée et élargie de sorte qu'elle soit plus pertinente.

Plusieurs perspectives de recherche sont possibles pour affiner les évaluations des pertes et les analyses coût-bénéfice tout en conservant notre démarche.

Pour obtenir une meilleure évaluation des pertes potentielles, les courbes d'aléa provenant des évaluations probabilistes PSHA devraient être utilisées. Les résultats peuvent également être améliorés en prenant en compte des effets de site potentiels. Côté réponse des structures, des modèles de renforcement plus détaillés pourraient être proposés. Enfin, nous devons aussi inclure et spécifier explicitement tous les avantages et les coûts associés aux différentes alternatives de renforcement. Tous ces éléments étaient hors de portée de ce travail. Cependant, ils pourraient être inclus à des évolutions futures. Les résultats de ce travail devraient servir d'appui à une décision stratégique portant sur la réduction du risque sismique en France.

6. Quelques réflexions sur le Plan de Valorisation - P. Guéguen

L'activité d'ISTerre sur l'évaluation de la vulnérabilité sismique et les conséquences des séismes se poursuit de toute façon, au-delà du projet financé par la Fondation MAIF. Les résultats présentés dans ce document serviront de point d'ancrage à nos prochaines activités et orientations scientifiques à long terme. A court terme, plusieurs actions de valorisation peuvent être imaginées afin de diffuser les résultats de ce travail.

D'un point de vue scientifique, les résultats de ces travaux seront présentés dans différentes conférences ou journées d'échange. Les deux premières sont:

1. l'atelier du Centre de Données Sismologiques des Antilles du 30/09 au 02/10 2015. A cette occasion, les résultats obtenus en métropole serviront de discussion pour l'implémentation de services rapides de détection de dommages en cas de séisme majeur aux Antilles. Il faut savoir que cette région est la plus sismique de France, et elle possède des caractéristiques sismologiques et urbaines qui, par certains aspects, nous rappellent celles en Haïti.

2. la conférence nationale de l'association de génie Parasismique. Cette conférence scientifique est un lieu de rencontre entre milieux académiques et des entreprises, et certains représentants du ministère de l'environnement (MEDDE) et et du monde des assureurs y participent régulièrement. Ils pourront ainsi réagir aux résultats que nous avons obtenus.

On peut également citer le contact avec la Banque Mondial qui a été relancé, en espérant que notre démarche soit reprise dans d'autres régions du monde; un projet ANR (REMAKE) sur l'Equateur qui a été accepté et dans lequel ISTerre sera aussi impliqué pour évaluer la vulnérabilité sismique à Quito en suivant la démarche proposée; un projet déposé à l'ANR sur un appel d'offre Franco-Allemand dont une activité concerne l'évaluation de la vulnérabilité des structures stratégiques et des infrastructures de la région de Strasbourg.

D'un point de vue de la diffusion vers le grand public et les médias, ce travail doit être mené en partenariat avec la Fondation MAIF. Il n'y a pas de difficultés à s'appuyer sur n'importe quel type de support de communication, que ce soit des vidéo, des applications mobiles, des sites web, des plaquettes, des comptes de réseaux sociaux etc... Les outils sont disponibles et notre réflexion doit plutôt porter sur trois points essentiels:

1. Quelle est l'information que nous souhaitons transmettre au public? Pour intéresser une audience et augmenter l'impact de l'action, il me semble qu'il faut répondre à ses demandes et pour cela nous pouvons imaginer un self-service de la connaissance en risque et vulnérabilité sismique. Un forum ou un blog permettant de poser des questions et constituer un pool de scientifiques qui s'engagent à y répondre; une application mobile avec un lexique et des illustrations françaises des séismes en fonction de l'endroit où se trouve le demandeur etc...
2. Quel impact souhaitons nous avoir en communiquant nos résultats? Diffuser des informations et l'amélioration de la connaissance pour augmenter la culture du risque sont les premiers objectifs de la diffusion de nos résultats. Faire prendre conscience de la vulnérabilité sismique et des moyens à prendre pour y remédier, inciter les actions personnelles de renforcement de son habitat..... toutes ces actions nécessitent des leviers différents et donc des moyens de communications différents.
3. Quelle est la durée de l'action de communication souhaitée? Un site web, un guichet d'information ou de diffusion de l'information à jour nécessite un suivi constant et dynamique des supports. Cela nécessite un engagement sur plusieurs années et des ressources à mobiliser

Tous ces points doivent être discutés et fixés avant de lancer une vaste campagne de communication et de diffusion. Elles ont toute un coût mais de toute façon l'efficacité de la diffusion dépendra des ressources mobilisées.

D'un point de vue de la diffusion vers les décideurs politiques (collectivités et ministères), trois leviers peuvent contribuer à une action de communication efficace:

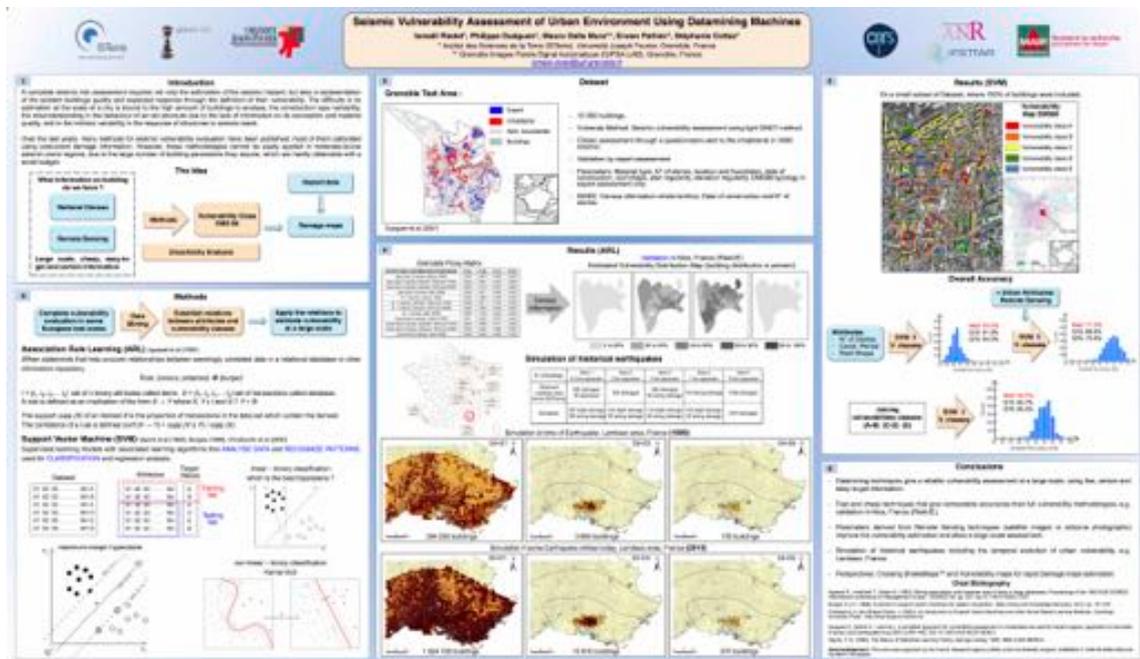
1. à travers les média en diffusant les résultats du travail de thèse à des journaux scientifiques de grande audience, sans connaître à l'avance leur décision éditoriale de relayer ou pas l'information;
2. à travers des informations auprès des services décentralisés du ministère de l'environnement (DREAL). Leur diffusion doit entrer dans un cadre afin d'avoir un impact significatif.

3. directement en informant le service du ministère en charge des risques naturels (DGPR).

Toutes ces actions doivent je pense être menées par la Fondation MAIF qui a, par son implantation en France, la force de mobiliser les assureurs, les ministères et les médias. Evidemment, elle peut s'appuyer sur notre expertise scientifique.

Annexe 1 - Poster

Seismological Society of America Conference - Salt Lake City, 2013





A part work of the
15th EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING & SEISMOLOGY
 34th GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION



Seismic Vulnerability Assessment of Urban Environment Using Datamining Machines

Ismaël Riedel and Philippe Guéguen - ismael.riedel@ujf-grenoble.fr

Institut des Sciences de la Terre (ISTerre), Université Joseph Fourier, Grenoble, France



1 Introduction

The estimation of the seismic vulnerability of buildings at an urban scale, a crucial element in any risk assessment, is an expensive, time consuming and complicated task, especially in moderate-to-low seismic hazard regions. We propose a way to perform a quick estimation using convenient, reliable building data that is readily available regionally instead of the information usually required by traditional methods. Using a dataset of existing buildings in Grenoble (France) and by means of a data mining technique - Support Vector Machine - we developed a seismic vulnerability proxy. Information from national databases (census information) and data derived from the processing of satellite images and aerial photographs were used to produce a nation-wide vulnerability map. This macro-scale method to assess vulnerability is easily applicable in case of a paucity of information regarding the structural characteristics and construction details of the building stock. Damage estimations were compared with historic earthquakes that caused moderate-to-strong damage in France.

Application Phase

Step 2: Vulnerability estimation Uncertainty analysis

National Census Attributes

Remote Sensing Attributes

Large scale, cheap, easy-to-get and certain information

Learning Phase

Step 1: Using datamining machines (Support Vector Machine)

Test Area Attributes + Vulnerability Class

Vulnerability Proxy

Using the information on building we have

Estimated Vulnerability

Hazard data

Estimated Damage

Dataset - Grenoble Test Area :

- 10 000 buildings total.
- Vulneralp Method: Seismic vulnerability assessment using light GNDT method. (Guéguen et al 2007)
- Parameters: Material type, N° of stories, location and foundation, date of construction, roof shape, plan regularity, elevation regularity, EMS98 typology in expert assessment only.

2 Method - Learning Phase

Support Vector Machine (SVM) Vapnik et al (1995), Burges (1998), Christaras et al (2000), Riedel et al (2014)

Supervised learning models with associated learning algorithms that **ANALYSE DATA** and **RECOGNIZE PATTERNS**, used for **CLASSIFICATION** and regression analysis.

A supervised classification task usually involves dividing data into training and testing sets. Each instance in the training set has one "target value" (i.e. the class label) and several "attributes" (i.e. the features or observed variables). The goal of SVM is to produce a model (based on the training data) that predicts target values for the test data (a set of patterns with a known label not considered in the training but used to evaluate the accuracy of the classification).

a) Histogram of accuracy

b) Evolution of accuracy and dispersion for different training set sizes.

a) 2 attributes - 6 classes

b) 3 attributes - 6 classes

c) 6 attributes - 6 classes

d) 6 attributes - 3 classes

Grenoble Vulnerability Matrix Proxy. "Confidence" values for the classification of each combination of attributes in EMS98 vulnerability classes. Obtained by SVM applied to the Grenoble database. "F" (Floors)

EMSE Attributes	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
-1945 & ≤ 3 fl.	0.221	0.636	0.103	0.031	0.009
[1945-1970] & ≤ 3 fl.	0.074	0.472	0.184	0.054	0.016
[1970-2000] & ≤ 3 fl.	0.019	0.205	0.043	0.041	0.041
>2000 & ≤ 3 fl.	0.013	0.207	0.021	0.014	0.746
-1945 & 4-5 fl.	0.119	0.660	0.175	0.027	0.009
[1945-1970] & 4-5 fl.	0.011	0.022	0.779	0.143	0.025
[1970-2000] & 4-5 fl.	0.010	0.055	0.069	0.793	0.075
>2000 & 4-5 fl.	0.009	0.065	0.026	0.001	0.871
-1945 & ≥ 6 fl.	0.043	0.058	0.002	0.004	0.013
[1945-1970] & ≥ 6 fl.	0.013	0.020	0.245	0.685	0.038
[1970-2000] & ≥ 6 fl.	0.010	0.026	0.096	0.666	0.261
>2000 & ≥ 6 fl.	0.025	0.068	0.101	0.281	0.526

Effects of different attributes on the accuracy: a) Only two attributes. b) Three attributes. c) Six attributes; after adding three parameters obtained from cadastral data processing. d) Six attributes, but merging vulnerability classes into only 3 classes (A-B); (C-D); (E-F).

3 Historic Earthquake Simulations - Application Phase

Lambesc area, France (1909). Simulation at time of the earthquake.

D1 (Slight Damage)

11901 buildings

D2+D3 (Moderate Damage)

2594 buildings

D4+D5 (Severe Damage)

171 buildings

Lambesc area, France (2010). Simulation if same earthquake strikes today.

D1 (Slight Damage)

38683 buildings

D2+D3 (Moderate Damage)

8764 buildings

D4+D5 (Severe Damage)

398 buildings

Conclusions

- Datamining techniques give a trustworthy vulnerability assessment at a large scale using few, reliable and easy-to-get information. Fast and cheap techniques that give comparable accuracies than full vulnerability methodologies, e.g. RiskUE.
- Parameters derived from Remote Sensing techniques (satellite images or airborne photographs processing) improve the vulnerability estimation and allow a large scale assessment.
- The simulation of historical earthquakes allows a validation of the method. At the same time, including the temporal evolution of urban vulnerability permits an estimation of probable damage for any earthquake scenario.
- Perspectives: Crossing ShakeMaps TM and Vulnerability maps for rapid Damage maps estimation.

Cited Bibliography

Agrawal R., Imielinski T., Swami A. (1993). Mining association rules between sets of items in large databases. Proceedings of the 1993 ACM SIGMOD international conference on Management of data - SIGMOD '93. pp. 207. doi:10.1145/170035.17007.

Burges C.J.C. (1998). A tutorial on support vector machines for pattern recognition. Data mining and knowledge discovery. Vol 2. pp. 121-167.

Christaras, N. and Shawe-Taylor, J. (2000). An introduction to Support Vector Machines and other Kernel-Based Learning Methods. Cambridge University Press. <http://www.support-vector.net>

Guéguen P., Michel C., LeClerc L. A simplified approach for vulnerability assessment in moderate-to-low seismic hazard regions: application to Grenoble (France). Bull Earthquake Eng (2007) 5:467-480. DOI 10.1007/s10518-007-9036-3.

Riedel I., Guéguen P., Durand F., Collat S. (2014). Macro-scale vulnerability assessment of cities using Association Rule Learning. Seismological Research Letters. 85(2) : 256-266. doi:10.1785/0220130148.

Vapnik, V. N. (1995). The Nature of Statistical Learning Theory. Springer-Verlag, 1995. ISBN 0-387-98780-0.

Acknowledgement: This work was supported by the French Research Agency (ANR) under the RiskNat program (URBASIS n° ANR-09-RISK-006) and the MAIF Foundation.

Macroscale Vulnerability Assessment of Cities Using Association Rule Learning

by I. Riedel, P. Guéguen, F. Dunand, and S. Cottaz

INTRODUCTION

After most moderate-to-strong earthquakes causing considerable damage (e.g., recent earthquakes such as those of Boumerdes in 2003, Bam in 2003, L'Aquila in 2009, Haiti in 2010, etc.), the observed losses remind local authorities and decision makers that reducing seismic risk is essential for the well-being and safety of local populations, as well as for economic and social stability. The anticipation and simulation of the consequences of an earthquake scenario require knowledge of the probabilistic seismic hazard, as well as a representation of the capacity of structures to support the seismic ground motion: this is the objective of seismic-vulnerability assessments. Such assessments (1) allow the estimation of probable damage at a large overall scale (country, region, town); (2) give information on the most vulnerable building categories that must benefit from priority reinforcement; (3) inform local authorities on the level of risk to which the population is exposed, compared with other natural or domestic hazards that are more frequent and therefore more easily appreciated by the population, particularly in moderate seismic-hazard countries (Lestuzzi *et al.*, 2009; Dunand and Guéguen, 2012); and (4) allow anticipation of the actions and reactions for crisis management by local or wider communities (Jaiswal *et al.*, 2010). Coupled with real-time seismic ground-motion estimates (e.g., Wald *et al.*, 1999; Worden *et al.*, 2010), macroscale vulnerability data is crucial information for the early assessment of damage, as proposed for specific facilities by Wald *et al.* (2008).

Old structures, designed before the application of earthquake design rules and present everywhere, are certainly a critical element affecting the extent of loss and fatalities. Many empirical methods for vulnerability assessment have been published, most of them calibrated on postearthquake observations (e.g., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti [GNDT], 1993; Hanks, 1997; Spence and Lebrun, 2006). They give the probability of reaching a certain level of damage for a given class of buildings and a given seismic demand. Recent initiatives as part of the Global Earthquake Model project (<http://www.globalearthquakemodel.org>, last accessed November 2013) also attempt to provide worldwide vulnerability assessment. This macromodel aims to propose and develop global procedures for deriving vulnerability functions for a wide variety of building types defined according to their structural characteristics referenced by the Housing Encyclopedia ([\[housing.net\]\(http://housing.net\), last accessed November 2013\) as the building taxonomy \(Porter *et al.*, 2001\).](http://www.world-</p></div><div data-bbox=)

The key issues and drawbacks of these methods and initiatives are the variability of the response of existing buildings to earthquakes, the inadequate information concerning the seismic behavior of old design buildings as well as the quality of construction materials and the lack of observation data for adjusting empirical methods to the highest damage grade. All these issues introduce a large epistemic uncertainty to seismic-vulnerability assessment and seismic-risk analysis. Recent initiatives have been proposed to complete the lack of empirical observations for the highest damage level based on hybrid methods (Kappos *et al.*, 2006) or to reduce epistemic uncertainties related to knowledge of building model using operative modal analysis (Michel *et al.*, 2012). Nevertheless, these issues remain critical for moderate seismic-prone regions because the mobilization of resources for seismic evaluation is limited, even though the seismic hazard is not negligible. For example, France is rightly regarded as a country with moderate hazard. However, several destructive historical earthquakes have occurred in the past, the most recent (1909 Lambesc earthquake) killing 42 people and causing hundreds of millions of euros in losses in the southeastern region of France. Even moderate earthquakes in the Pyrenees (1980 Arudy Ossau, M_L 5.1) and the Alps (1996 Annecy, M_L 4.8) have caused several million euros of damage as observed in other seismic-prone regions (e.g., Pierre and Montagne, 2004). In this context, vulnerability assessment studies have been conducted in France, focusing on large exposed cities and applying traditional empirical methods. However, the application of empirical methods requires so much information that the evaluation struggles to find sufficient political motivation and financial resources for accomplishing the seismic inventory of buildings. Consequently, the structural characteristics required for the seismic-vulnerability assessment of existing buildings are not available for all exposed urban areas of the country, even though seismic exposure is higher than in the past and a repetition of historic earthquakes may provide more casualties and economic losses due to the urbanization growth over the past century, and as suggested by Jackson (2006) for the worldwide situation.

To overcome the lack of building information at the macroscale, one solution would be to assess vulnerability, not by considering the information required, but using the information already available in a region or country. In this paper, a data-mining method based on association rule learning (ARL)

Seismic vulnerability assessment of urban environments in moderate-to-low seismic hazard regions using association rule learning and support vector machine methods

Ismaël Riedel · Philippe Guéguen · Mauro Dalla Mura ·
Erwan Pathier · Thomas Leduc · Jocelyn Chanussot

Received: 2 June 2014 / Accepted: 20 November 2014
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2014

Abstract The estimation of the seismic vulnerability of buildings at an urban scale, a crucial element in any risk assessment, is an expensive, time-consuming, and complicated task, especially in moderate-to-low seismic hazard regions, where the mobilization of resources for the seismic evaluation is reduced, even if the hazard is not negligible. In this paper, we propose a way to perform a quick estimation using convenient, reliable building data that are readily available regionally instead of the information usually required by traditional methods. Using a dataset of existing buildings in Grenoble (France) with an EMS98 vulnerability classification and by means of two different data mining techniques—association rule learning and support vector machine—we developed seismic vulnerability proxies. These were applied to the whole France using basic information from national databases (census information) and data derived from the processing of satellite images and aerial photographs to produce a nationwide vulnerability map. This macroscale method to assess vulnerability is easily applicable in case of a paucity of information regarding the structural characteristics and constructional details of the building stock. The approach was validated with data acquired for the city of Nice, by comparison with the RiskUE method. Finally, damage estimations were compared with historic earthquakes that caused moderate-to-strong damage in France. We show that due to the evolution of vulnerability in cities, the number of seriously damaged buildings can be expected to double or triple if these historic earthquakes were to occur today.

Annexe 3 - Thèse Ismael Riedel

Référence:

Riedel I. 2015. Analyse de la vulnérabilité du bâti existant. Estimation et éduction des incertitudes dans l'estimation des dommages et des pertes pour un scénario sismique donné, PhD thesis, Université de Grenoble, France, 212 pages

Résumé

Among the natural hazards and major catastrophes, earthquakes are one of the most deadly, damaging and unpredictable of all. With increasing impacts in countries' economies and casualties, modern earthquakes cost in average tens of billions of dollars and kill 35,000 people per year worldwide (USGS). The planet is experiencing the consequences of the large urban population growth of the last century. With the extensive damage observed after the moderate-to-strong earthquakes of the last decades, awareness of natural catastrophes has considerably increased. There is therefore, a growing demand for detailed seismic risk analysis to strengthen disaster risk mitigation and response. This risk assessment requires not only the estimation of the seismic hazard, but also the representation of the structures' capacity to withstand the seismic ground motion: this is the objective of seismic vulnerability assessments.

Due to the inherent complexity of estimating hazard, vulnerabilities and their interaction, seismic risk quantification is a very complicated and daunting task. Estimating realistic impacts due to large earthquakes may only be done approximately. The estimation of the seismic vulnerability of buildings at an urban scale, while a crucial element in any risk assessment, is itself an expensive, time-consuming, and complicated task, especially in moderate-to-low seismic hazard regions, where the mobilization of resources for the seismic evaluation is reduced, even if the hazard is not negligible. We propose a way to perform a quick estimation using convenient, reliable building data that are readily available regionally instead of the information usually required by traditional methods. Using a dataset of existing buildings in Grenoble (France) with an EMS98 vulnerability classification and by means of two different data mining techniques - association rule learning and support vector machine - we developed seismic vulnerability proxies. These were applied to the whole France using basic information from national databases (census information) and data derived from the processing of satellite images and aerial photographs to produce a nationwide vulnerability map. This macroscale method to assess vulnerability is easily applicable in case of a paucity of information regarding the structural characteristics and constructional details of the building stock. The closing part of this work is advocated to the analysis and reduction of uncertainties in earthquake damage and loss estimations. A comparison between predicted and observed ground motion in France is done, and the prediction with smaller residuals is highlighted. The full estimation from earthquakes scenarios to probable number of damaged buildings in a typical European city is then presented. A comprehensive analysis of uncertainties is carried on at each step, and the final combined uncertainty is calculated. The evolution of damage and risk when structural improvements are performed to buildings as well as cost/benefits curves are calculated for a French-like building environment.