



**Correr entre los escombros - Courir entre les débris. La
mobilité individuelle en période de crise sismique :
facteur d'exposition humaine dans le cas du séisme de
Lorca (Espagne 2011)**

Marc Bertran Rojo

► **To cite this version:**

Marc Bertran Rojo. Correr entre los escombros - Courir entre les débris. La mobilité individuelle en période de crise sismique : facteur d'exposition humaine dans le cas du séisme de Lorca (Espagne 2011). Sciences de la Terre. Université Grenoble Alpes, 2014. Français. <NNT : 2014GRENU040>. <tel-01229852>

HAL Id: tel-01229852

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01229852>

Submitted on 17 Nov 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Spécialité : **Géographie**

Arrêté ministériel : 7 août 2006

Présentée par

Marc BERTRAN ROJO

Thèse dirigée par **Philippe SCHOENEICH** et **Céline LUTOFF** et codirigée par **Elise BECK**

préparée au sein du **Laboratoire PACTE**
dans l'**École Doctorale Terre Univers Environnement**.

Correr entre los escombros - Courir entre les débris

**La mobilité individuelle en période de crise
sismique: facteur d'exposition humaine dans le
cas du séisme de Lorca (Espagne 2011)**

Thèse soutenue publiquement le **7 octobre 2014**,
devant le jury composé de :

Philippe GUEGUEN

Directeur de Recherche IFSTTAR / ISTerre / Président du jury

Frédéric LEONE

Professeur - Université de Montpellier 3 / Rapporteur

Sandrine GLATRON

Chargée de recherche CNRS HDR - LIVE / Rapporteur

Florent DEMORAES

Maître de conférences - Université de Rennes / Examineur

Anne-Catherine CHARDON

Professeure associée - Université Nationale de Colombie / Examineur

Philippe SCHOENEICH

Professeur - Université de Grenoble / Directeur

Céline LUTOFF

Maître de conférences HDR - Université de Grenoble / Directeur

Elise BECK

Maître de conférences - Université de Grenoble / Directeur

*Université Joseph Fourier / Université Pierre Mendès France /
Université Stendhal / Université de Savoie / Grenoble INP*



Remerciements

Il n'est pas facile trouver tous les mots pour remercier tous ceux qui m'ont aidé.

En premier lieu, je tiens à remercier mes trois directeurs de thèse Philippe Schoeneich, Céline Lutoff et Elise Beck qui ont relevé et assuré le défi, de me suivre en sachant à l'avance que je n'allais pas être un doctorant aussi autonome que les autres. Merci Philippe de m'avoir poussé à aller à Lorca suite au séisme, même si ne c'était pas mon terrain d'étude à la base : tu avais raison, c'était une opportunité qu'il ne fallait pas rater.

Une reconnaissance toute particulière à Céline qui m'a guidé depuis mon stage jusqu'à la fin de cette thèse avec rigueur et passion, du début jusqu'à la fin. Merci d'être toujours là et de suivre mon travail jour après jour, de m'avoir ainsi conseillé et de m'avoir sorti la tête du guidon quand parfois je perdais toute perspective. Je te suis également très reconnaissant de toutes les discussions, extrêmement enrichissantes dans lesquelles parfois j'avais du mal à suivre, mais qu'avec le temps je finissais par comprendre.

De la même manière te tiens à remercier Elise Beck, ma codirectrice de thèse qui m'a dirigé avec enthousiasme. Merci de m'avoir initié au passionnant monde des tremblements de terre, même si à la base j'avais les pieds dans l'eau. Encore merci pour sa disponibilité infinie et inconditionnelle. Enfin merci de m'avoir appris avec tellement de patience énormément de mots en français, en même temps qu'enlever de ma tête des mots qui n'existaient pas en français même s'ils étaient bien drôles.

Merci à Sonia Chardonnel, Pierre-Yves Bard, et Jean-Dominique Creutin d'avoir accepté de faire partie de mon comité de thèse, qui m'ont poussé chaque année à faire le point, en me donnant des pistes indispensables pour la suite.

Je suis également très reconnaissant aux membres de mon jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail : Pierre-Yves Bart, qui pour des questions de date n'a pas pu être présent, Philippe Gueguen pour son rôle de président, Frédéric Leone et Sandrine Glatron pour le temps qu'ils ont passé, en tant que rapporteurs, ainsi que Florent Demoraes et Anne-Catherine Chardon d'avoir accepté d'être mes examinateurs.

Même si de manière officielle elle ne faisait pas partie de mes encadrants, merci à Isabelle Ruin, pour son travail, original et rigoureux qui m'a servi de guide d'innombrables fois, maintenant elle a les pieds dans l'eau et moi entre les débris. Merci aussi à Jean-Dominique pour ses discussions, *emboîtées dans des échelles spatiotemporelles*.

Merci à Rafa Meca qui m'a aidé en tout lors de mes périodes de terrain. Je n'oublierais jamais quand il me disait « tu pideme lo que necessitas » c'était complètement vrai. Tu es une personne exceptionnelle, finalement j'ai compris pourquoi personne ne t'a jamais refusé aucune des demandes que je t'ai faites.

Un grand merci à Pascuala, ainsi qu'à toutes les personnes que j'ai interviewé, qui m'ont ouvert les portes de chez eux pour me raconter avec force détails ce qui fût la pire expérience de leur vie.

Merci aussi aux acteurs que j'ai interviewé pour leur sincérité et la confiance qu'ils m'ont accordé ainsi que les différents services de Lorca qui m'ont facilité l'accès aux données dont j'avais besoin.

Merci à Mr Maurice Prestail qui m'a ouvert les portes de sa maison à la Tronche, qui m'a montré que je n'étais pas la personne la plus positive du monde, lui et ses 85 ans.

Merci à ma famille qui malgré la distance m'a toujours encouragé et remonté le moral lors de mes petites pertes de confiance. Et un merci spéciale à ma mère qui a tout fait.

Merci aux thésards de l'Institut de Géographie Alpine qui m'ont permis de traverser ces quatre années. Même si je suis arrivé tard parmi eux, grâce à nos échanges riches et parfois animés, je me suis rapidement senti abeille au sein de la ruche.

Merci à ma deuxième famille, les expatriés qui vivent à Grenoble venus d'ailleurs, aussi bien des « Catalans, Españoles, Madrileños, des Bascos, Valencianos, Braziliens » mais aussi Français du nord, du sud, de l'est ou de l'ouest.

Merci à « la Batook » la meilleure compagnie de percussion, qui a réussi à me faire déconnecter et oublier un peu les longues journées de bibliothèque.

Merci à Christine et JP pour les corrections mais aussi pour leur infatigable curiosité qui m'a poussé à expliquer ma thèse de nombreuses fois, en me rendant compte de l'évolution que j'ai pu avoir depuis le début.

Et enfin merci à Pat de m'avoir supporté quand j'étais monothématique, de m'avoir attendu dans ses projets, pour ses encouragements, et pour m'avoir corrigé également de nombreuses fois.

Préambule

Ce travail de thèse a été financé par la Région Rhône-Alpes via le cluster de recherche n° 6, Environnement (2011-2013). Cette recherche a une vocation de recherche fondamentale et non opérationnelle, même si elle fournit des éléments essentiels pour la création de plans de gestion de crises sismiques dans le contexte européen. Ainsi, ce travail propose d'utiliser une méthodologique développée pour l'analyse des réponses sociales aux phénomènes extrêmes de crues rapides et de l'appliquer à l'étude d'un épisode sismique en milieu urbain. Ce travail a laissé la place à une grande quantité d'échanges interdisciplinaires au sein du laboratoire PACTE, du Laboratoire d'Étude des Transferts en Hydrologie et Environnement (LTHE) et de l'Institut des Sciences de la Terre (ISTerre) dans le cadre d'échanges réguliers concernant la thèse, mais aussi autour du groupe de réflexion AMETIHST (Anticipation, Mobilité, Echelles spatio-Temporelles, Intégration, Hydrométéo, Société, Territoires). Cette forte collaboration a permis de mutualiser des méthodologies d'analyse de la mobilité individuelle en périodes perturbées par un phénomène naturel.

Résumé

Le 11 mai 2011, un double séisme a frappé la ville de Lorca, dans le sud-est de l'Espagne. Ce séisme a eu de lourdes conséquences pour la population et provoqué de nombreux dégâts sur les bâtiments de la ville. Les tremblements de terre sont des phénomènes caractérisés par leur relative faible fréquence et par leur violence. Dans le bassin méditerranéen, la grande majorité des séismes ne sont perceptibles qu'à l'aide d'instruments de mesure. Certains événements récents ont néanmoins surpris la communauté scientifique par leur magnitude modérée mais leur intensité élevée. C'est notamment le cas du tremblement de terre de Lorca.

Depuis 40 ans, l'administration espagnole essaye de se prémunir davantage contre ce phénomène. Cela se traduit par l'évolution des normes parasismiques appliquées à la construction ou encore par la création de cartes de zonages sismiques intégrant à chaque révision une plus grande portion du territoire exposée au risque. Cependant, ces mesures évoluent au rythme des événements. Or, la localisation des villes en zone sismique et la vulnérabilité des bâtiments préalablement construits sont des variables difficilement ajustables à ces nouvelles normes. Lorsqu'un séisme affecte une ville, l'origine des dommages corporels réside dans la coïncidence temporelle et spatiale entre l'individu et le danger, danger la plupart du temps lié aux bâtiments. Dans ce contexte, nous avons proposé une démarche focalisée sur l'individu.

Pendant la période de crise sismique, la mobilité individuelle apparaît comme l'élément qui va permettre la coïncidence spatiale entre le danger et l'individu. A partir d'entretiens qualitatifs, nous avons analysé la mobilité individuelle en période de crise sismique, par la collecte d'informations très fines sur les aspects spatiaux et temporels de celle-là. Parallèlement, nous proposons une étude des principaux dangers observés pour le cas de Lorca et comment ceux-ci peuvent toucher la population. En général, la plupart des décès en cas de séismes se produisent à l'intérieur des bâtiments à cause de leur effondrement. Cependant, dans le cas de séismes d'intensité faible à modérée, c'est la chute d'éléments non structuraux, notamment d'éléments de façade, qui constitue un danger.

En croisant spatialement et temporellement la mobilité des individus avec les dangers, nous concluons que la mobilité individuelle est un facteur déterminant de l'exposition humaine. Les facteurs qui vont conditionner la mobilité sont principalement liés à la mise en protection immédiate ainsi qu'à l'organisation en famille préalablement à l'évacuation de la ville. Après avoir permis d'évaluer les dangers, les analyses spatiales ont mis en avant que la grande incertitude de cette évaluation rend difficiles les études très fines. Cependant, elles ouvrent des perspectives intéressantes pour des travaux futurs.

Enfin, notre travail de thèse a proposé l'adaptation d'une méthodologie de collecte et d'analyse des dynamiques spatiales et temporelles liées aux individus, à la base créée pour les crues rapides. Cette méthode s'est montrée facilement transposable à de futurs événements, ce qui permettrait de réaliser des études comparatives.

Abstract

May the eleventh, 2011, a double earthquake struck the town of Lorca in southeastern Spain. The earthquake had serious consequences for the population and caused extensive damage to buildings in the town. Earthquakes are phenomena characterized by their relatively low frequency and their violence. In the Mediterranean Basin, most earthquakes are only perceptible using measuring instruments. Recent seismic events have surprised the scientific community by their moderate magnitude associated with a high intensity. This is particularly the case of Lorca's earthquake.

In the last 40 years, the Spanish authorities have tried to develop prevention towards seismic phenomenon. Measures have been taken by improving seismic building codes or by updating the seismic zoning, each revision taking into account wider zones at risk. In general, events give rhythm to the evolution of these measures. However, variables like the location of cities in seismic zones and the vulnerability of existing buildings can hardly be adjusted to these new standards. When an earthquake affects a town, danger is mostly caused by building failure. However, injuries and fatalities are due to the spatial and temporal coincidence between the individual and the danger. In this context, we propose an approach focused on the individual.

During a seismic crisis, individual mobility appears to be the element that will allow the spatial coincidence between the danger and the individual. We analyzed individual mobility during seismic crisis by collecting very precise information regarding spatial and temporal aspects of mobility through qualitative interviews. Simultaneously, we carried out a study of dangers observed in the case of Lorca. In general, most of the fatalities caused by earthquakes occur inside collapsed buildings. However, in the case of low-to-moderate-intensity earthquakes, danger is related to the fall of non-structural elements, especially frontage elements.

By combining spatial and temporal mobility of individuals with dangers, we conclude that individual mobility is a determinant factor of human exposure. The factors that will determine mobility are mainly related to the immediate protection measures as well as the family organization prior to the town evacuation. Finally, spatial analysis allowed assessing dangers. The associated uncertainty of this evaluation makes it difficult a more accurate study, but offers perspectives for future work. This work proposes the adaptation of a methodology to collect and analyze spatial and temporal dynamics related to individuals. Developed initially for flash flood analysis, this methodology is transferable to future events, enabling comparative studies.

Resumen

El 11 de mayo de 2011 un doble seísmo sacudió la ciudad de Lorca, situada en el sudeste de España. Este seísmo provocó graves consecuencias para la población así como numerosos daños en los edificios de la ciudad. Los terremotos son fenómenos caracterizados por su relativa poca frecuencia y por su violencia. En la cuenca mediterránea, gran parte de los seísmos no son detectados por los instrumentos de medición, aunque ciertos acontecimientos recientes han sorprendido a la comunidad científica por su magnitud moderada, pero de elevada intensidad. El caso de Lorca corresponde a esta categoría.

Cuando un seísmo afecta a una ciudad, el origen de los daños corporales se encuentra en la coincidencia espacial y temporal del individuo con el peligro. Generalmente el derrumbamiento de los edificios es la principal causa de víctimas fatales que se producen en el interior de las construcciones, sobretodo en el caso de terremotos de alta magnitud. Desde hace 40 años, la administración española intenta adaptarse a este tipo de fenómenos, lo que se refleja en una evolución de la normativa sismoresistente aplicada a la construcción. Asimismo una producción cartográfica de zonas sísmicas acompaña esta normativa y año tras año amplía los territorios susceptibles de padecer terremotos. Ahora bien, la situación geográfica de las ciudades en las zonas sísmicas y la vulnerabilidad de la edificación existente constituyen variables difícilmente ajustables a las nuevas normativas. Además, la normativa evoluciona al mismo tiempo que los distintos acontecimientos; por ello razón es razonable preguntarse si los edificios que hoy en día se construyen bajo la normativa actual, van a reducir el número de víctimas durante terremotos futuros. A partir de este razonamiento, si las víctimas se producen por la interacción entre los edificios y los individuos y aunque centrarse sobre los primeros es lo más común, encontramos límites, sobretodo en términos de aplicabilidad. Por esta razón en nuestro trabajo, al igual que otros lo han hecho anteriormente, nos centraremos en el individuo.

En el caso de Lorca sólo un edificio se ha derrumbado y las víctimas se han producido en el exterior de los edificios a causa de los elementos constructivos no estructurales. De esta forma los análisis estáticos normalmente utilizados, que se interesan en cruzar las víctimas que se producen en el interior de los edificios no nos sirve para el caso de Lorca. Por esta razón, proponemos una metodología dinámica centrada en el individuo capaz de integrar las víctimas que se producen cerca de los inmuebles.

A partir de entrevistas cualitativas, hemos analizado la movilidad individual en el período de crisis sísmica, a través de la compilación de datos muy precisos sobre aspectos espaciales y temporales. En paralelo, proponemos un estudio de los principales peligros observados en el caso de Lorca. Los resultados de nuestra investigación han demostrado, que durante un período de crisis sísmica, la movilidad individual aparece

como el elemento que va a hacer posible la coincidencia espacial entre el peligro y el individuo.

Cruzando espacialmente y temporalmente la movilidad de los individuos con los riesgos, concluimos que la movilidad individual es un factor determinante de la exposición humana. Los factores que van a condicionar la movilidad están relacionados principalmente a la búsqueda de protección inmediata así como a la organización familiar previa a la evacuación de la ciudad. Los análisis espaciales nos muestran que son necesarios colaboraciones con especialistas de la vulnerabilidad física (de los edificios) para ampliar nuestro conocimiento sobre cómo los elementos no estructurales, pueden impactar en el exterior de los edificios y provocar víctimas. Solo de esta manera seremos capaces de reducir la incertidumbre asociada a esta proposición metodológica. Finalmente este trabajo es una proposición de adaptación metodológica y de compilación y análisis de datos sobre las dinámicas espaciales y temporales ligadas a los individuos, pero creada inicialmente para el estudio de riadas. Esto hace que sea fácilmente extrapolable a acontecimientos futuros, lo que va a hacer posible la realización de estudios comparativos.

Table des matières

Table des matières	1
Chapitre 1 - Introduction	7
1.1 Contexte sismique général.....	9
1.2 Le séisme de Lorca : un cas très étudié ?.....	10
1.3 Contexte général de la thèse.....	10
Première Partie - L'étude de l'exposition humaine, une démarche inhabituelle	15
Chapitre 2 - Exposition versus vulnérabilité	17
2.1 La vulnérabilité sociale aux séismes	17
2.2 Exposition humaine face aux séismes	21
2.3 A la recherche d'une échelle d'analyse plus fine	25
Chapitre 3 - Observer l'exposition-adaptation en période de crise sismique	29
3.1 Diminuer l'exposition : processus d'adaptation lors de la crise.....	29
3.2 Que faut il faire en cas de séisme ?	31
3.3 Définition de la période de crise sismique	34
3.4 Le rôle de la mobilité en période de crise	36
Deuxième partie - Analyser l'exposition sur l'événement de Lorca	39
Chapitre 4 - Méthodologie d'analyse de l'exposition humaine.....	41
4.1 Les entretiens avec la population : la principale source de données.....	44
4.1.1 Les lieux	48
4.1.2 Les déplacements	49
4.1.3 La carte des itinéraires	50
4.1.4 Limites méthodologiques.....	51
4.1.5 Mobilité résidentielle post-crise et adaptation à long terme	53
4.2 Entretiens avec les acteurs et données déjà existantes.....	54
4.2.1 Les services de sécurité.....	54
4.2.2 Autres entretiens spéciaux	54
4.2.3 Données compilées déjà existantes	55
4.3 Procédure de traitement des données.....	60
4.3.1 Digitalisation des lieux et des trajets : un objectif, l'analyse spatiale	60
4.3.2 Outil d'analyse temporelle : les actogrammes	67
4.3.3 La division du temps en trois périodes	73

Chapitre 5 - Autopsie d'un événement.....	75
5.1 Une région à sismicité modérée	75
5.1.1 Le risque sismique à Lorca est-il extraordinaire ?	77
5.1.2 « <i>Amnesia sísmica</i> » Amnésie sismique.....	80
5.2 Lorca une ville fragile ?.....	83
5.2.1 La réglementation « <i>sismoresistente</i> »	83
5.2.2 Les dégâts sur les bâtiments de Lorca.....	84
5.3 Comment la crise a-t-elle été gérée ?	99
5.3.1 Cadre opérationnel général.....	100
5.3.2 Circulation de l'information et application des mesures à Lorca.....	102
5.3.3 Une réponse des services de sécurité « sans planification ».....	106
5.3.4 Quels moyens ont été déployés ?.....	107
5.3.5 Une proposition de gestion naît de l'expérience de Lorca.....	110
 Troisième partie - Comportements d'urgence : choix individuels sous contraintes	 117
 Chapitre 6 - Mobilité et exposition dans le temps	 119
6.1 Mobilité en période de crise sismique	120
6.1.1 Les individus se déplacent-ils en période de crise?	120
6.1.2 La réaction immédiate : les pics de mobilité	122
6.1.3 Distance parcourue et mode de transport.....	123
6.1.4 Avec qui se déplacent-ils?	125
6.1.5 Evacuer la ville, pour aller où ?	128
6.2 Se déplacer et agir : un même but, se mettre en sécurité.....	130
6.2.1 Evolution des activités dans le temps	132
6.2.2 Les individus qui réalisent le plus d'activités.....	137
6.3 L'évolution de l'exposition individuelle dans le temps.....	140
6.3.1 Définition de la typologie des situations d'exposition.....	141
6.3.2 Fluctuation de l'exposition dans le temps	146
6.3.3 Modèle conceptuel de mobilité en période de crise.....	148

Chapitre 7 - La voie publique : lieu d'exposition spécifique.....151

7.1	Caractérisation de l'exposition humaine dans le cas de Lorca.....	152
7.1.1	Situations critiques lors de l'événement.....	152
7.1.2	Période d'exposition maximale	155
7.1.3	Définition des zones d'exposition	158
7.1.4	Localisation des bâtiments fragiles	160
7.2	Définition des zones d'impact	164
7.2.1	Calcul de la distance d'impact maximale observée.....	165
7.2.2	Estimation de la hauteur des bâtiments.....	170
7.2.3	Calcul de la distance maximale d'impact	172
7.3	Estimation de l'exposition humaine.....	174
7.3.1	Estimation des zones d'exposition	175
7.3.2	Itinéraires individuels et zones d'exposition	176
7.3.3	Définition des tronçons d'exposition.....	178
7.3.4	Caractérisation des tronçons d'exposition.....	182
7.3.5	Largeur de la voie : facteur de détermination des zones d'exposition ? ...	186
7.3.6	Facteurs de comportements humains	190

Conclusions 193

Chapitre 8 - Atouts et limites de l'analyse de l'exposition humaine aux séismes 195

8.1	Ce que révèle le cas de Lorca.....	195
8.1.1	Le rôle central de la mobilité en période de crise sismique	195
8.1.2	Le séisme précurseur, une chance ?.....	197
8.1.3	Domages non-structurels peu étudiés	198
8.2	Bilan méthodologique	199
8.2.1	Une proposition méthodologique sur un petit échantillon	200
8.2.2	Transfert entre risques.....	202
8.2.3	Entretiens précurseurs : révélateurs de comportements spécifiques	203
8.2.4	Complémentarité des approches qualitative et quantitative	204
8.2.5	La difficulté des entretiens.....	206

Perspectives	209
Chapitre 9 - Perspectives.....	211
9.1 Nouvelles problématiques à explorer.....	211
9.2 Futures applications possibles	212
9.3 Approche spatiotemporelle de l'exposition aux séismes.....	213
Bibliographie	219
Liste de figures	229
Liste des tableaux	239
Annexes.....	243

Chapitre 1 - Introduction

Le 11 Mai 2011, exactement deux mois après l'épisode de Fukushima au Japon, un double séisme a secoué la ville de Lorca, située à environ 60 kilomètres au sud-ouest de Murcia en Espagne. Le tremblement de terre de Lorca n'a pas été un des plus meurtriers dans le contexte Méditerranéen, cependant il présente plusieurs caractéristiques qui le rendent inédit.

La péninsule ibérique n'avait pas connu de tremblement de terre aussi meurtrier depuis 1956, où un séisme avait fait 13 morts dans le sud-est de l'Espagne, près de la ville de Grenade (Solares 2012). En 2011, le séisme, de magnitude M_v 5,2, a eu lieu vers 18H47 heure locale (16H47 heure GMT) et il a été précédé de presque deux heures par une autre secousse de magnitude M_v 4,6. D'une intensité épicentrale de VII (EMS 98), l'évènement a causé neuf décès, environ 300 blessés, l'écroulement total d'un bâtiment, et des dommages graves sur 1.164 autres édifices. Les pertes économiques étaient estimées en novembre 2011 à 1.200 millions d'euros par la municipalité de Lorca. Les victimes ont été touchées sur la voie publique à proximité de bâtiments. La cause des blessures n'est pas liée à l'effondrement des bâtiments mais à des chutes de corniches, de balcons, ou d'autres éléments constitutifs des bâtiments (Martínez Moreno et al. 2012).

La secousse a été de très courte durée (quelques secondes). Elle a provoqué une accélération maximale de 0,37 g (enregistrée dans la ville à 3 km de l'épicentre), la plus grande enregistrée en Espagne depuis le début de l'installation des accéléromètres en 1984 (Rodríguez et al. 2011). Les effets de site, la faible profondeur, la forte accélération ainsi que la vulnérabilité relativement élevée des infrastructures semblent être les facteurs explicatifs de l'endommagement observé (Díaz 2012). Les dégâts ont été très concentrés sur la ville de Lorca alors qu'ils étaient à peine visibles à quelques kilomètres de la ville.

Ce séisme a retenu notre intérêt pour plusieurs raisons que nous allons exposer ici.

Un séisme *typiquement européen* : le tremblement de terre de Lorca est assez caractéristique de la sismicité habituelle dans le contexte européen. Dans les endroits où le risque sismique est plus récurrent et violent, près des grandes failles, la culture du risque sismique n'est pas la même que dans des pays européens où les tremblements de terre sont moins fréquents et moins sévères. Les individus soumis régulièrement aux séismes ne réagissent pas de la même manière et les constructions sont généralement mieux adaptées, dans les pays post-industriels tout au moins. Cela fait de Lorca un terrain d'étude intéressant de l'impact possible de ces séismes sur les bâtiments et les populations, caractéristiques de l'Europe.

Une zone à risque sismique *modéré* : même si la région du sud-est de l'Espagne n'est pas une zone sismique importante au niveau mondial, dans le contexte espagnol, c'est l'une des zones les plus actives. Les séismes ne représentent donc pas une nouveauté pour la population, même s'ils sont généralement de faible magnitude (entre Mv 3 et Mv 5, voire Mv 6 sur l'échelle de Richter). Récemment, entre 1999 et 2005, sept séismes de magnitude comprise entre Mv 3,9 et Mv 5 ont secoué la zone (Guevara 2011).

Modérée *magnitude* mais *intensité* élevée : le séisme de Lorca, comme d'autres auparavant (Athènes 1999, L'Aquila 2009), a montré que des séismes de magnitude modérée peuvent être meurtriers et avoir de lourdes conséquences économiques, dans certaines conditions, notamment une faible profondeur, et un épocentre proche d'un centre urbain (3 kilomètres) (Rodríguez et al. 2011; González López 2012). Cette situation pose la question des niveaux de vigilance accordés à des petites failles situées à proximité de grandes villes (Rodríguez et al. 2011).

Double séisme : une autre particularité du séisme de Lorca a attiré notre attention : le caractère relativement exceptionnel du déroulement de l'épisode sismique. Le *double séisme*, avec la secousse principale presque deux heures après un séisme précurseur important, fait qu'au moment de la secousse principale, la plus grande partie de la population était dans une sorte de situation d'alerte, ce qui a poussé certaines personnes à se protéger. Cette particularité nous permet d'étudier une situation de mise en alerte sismique de la population, peu travaillée jusqu'à maintenant.

Impact humain *bien identifié mais peu étudié* : les victimes provoquées par les séismes sont, dans la plupart des cas, liées à l'écroulement des bâtiments, ou à des dommages structurels, qui représentent 75% des causes de mortalité lors de séismes de forte intensité (Coburn, Spence, et Pomonis 1992). La littérature fait état de cas particuliers de séismes causant peu des dommages (moins de 5.000 bâtiments endommagés), dans lesquels une part importante des morts et blessés est liée à des causes non structurelles. Dans le cas de Lorca toutes les personnes décédées se trouvaient à l'extérieur du bâtiment quand elles ont perdu la vie à cause de débris détachés des façades des bâtiments (Rodríguez et al. 2011). Ainsi le cas de Lorca offre

une opportunité d'étudier davantage cette vulnérabilité spécifique liée aux séismes d'intensité élevée.

1.1 Contexte sismique général

La plupart du temps, quand on parle des séismes récents, les images du tsunami au Japon en 2011 suivi par la crise nucléaire de Fukushima nous reviennent en mémoire ; mais ce séisme n'est qu'un exemple, particulièrement marquant, parmi tant d'autres. Depuis 2004, la planète a subi six séismes de magnitude supérieure à Mv 8, quatre en Indonésie, un au Chili et celui de 2011 au Japon. Le séisme d'Indonésie en 2004 est considéré comme l'un des plus meurtriers de l'histoire moderne, causant 227.898 morts selon le United States Geological Survey¹. Les trois autres ont fait au total près de 1.600 victimes. Selon la base de données du Centre Sismique Euroméditerranéen², les séismes en Europe sont relativement fréquents. Depuis 2004 et jusqu'à aujourd'hui, l'Europe a vécu 132 séismes d'intensité comprise entre Mv 5 et Mv 7 (excluant les séismes dans la mer ou l'océan n'ayant pas eu de répercussions sur les populations). La majorité de ces séismes a concerné la Grèce, l'Italie et les Balkans.

Certaines secousses de ces dernières années sont entrées dans les annales des catastrophes sismiques en Europe. Trois de celles-là ont eu lieu en Italie, celle d'avril 2009 à L'Aquila dans la région des Abruzzes (308 décès) et deux séismes qui se sont produits en mai 2012 dans le Nord-Est de l'Italie, entre Milan et Venise, et qui ont causé respectivement 6 et 27 morts ainsi que de nombreuses pertes patrimoniales. En 2008, en Grèce, deux séismes ont causé 3 morts, alors qu'en 1999 une autre secousse avait fait environ 140 morts et laissé 60.000 sans-abri. En France métropolitaine, 4 séismes d'une magnitude locale comprise entre Mv 5 et Mv 5,4, ont eu lieu entre 2003 et 2005, dans les Vosges, dans le Jura, et deux autres dans les Pyrénées. Néanmoins, il faut signaler que les séismes de magnitude comprise entre Mv 2 et Mv 3 représentent 90 à 95% de la sismicité totale en France. L'Espagne présente, quant à elle, une sismicité similaire à celle de la France : entre 2005 et 2012 il y a eu 4 séismes d'intensité modérée (Mv 4–Mv 6). Parmi ceux-là, celui de Lorca en 2011, qui, bien qu'inférieur à une magnitude de Mv 6, a eu de lourdes conséquences sur la ville et sa population.

La France, l'Espagne et l'Italie sont donc des pays à sismicité modérée, néanmoins, leur histoire sismique et les événements récents en Espagne montrent que

¹ L'USGS est une organisation scientifique qui fournit des informations sur la santé de nos écosystèmes et de l'environnement, les risques naturels, les ressources naturelles dont nous dépendons, les impacts du changement climatique et l'aménagement du territoire (<http://www.usgs.gov>).

² <http://www.emsc-csem.org>

des séismes de faible magnitude peuvent avoir des conséquences non négligeables pour la population ainsi que pour le patrimoine culturel et architectural très riche des régions affectées.

1.2 Le séisme de Lorca : un cas très étudié ?

Du fait de leur faible fréquence, les séismes européens captent l'attention de nombreux spécialistes provenant de différentes disciplines, mais essentiellement les géosciences, le génie civil et l'architecture. Ces derniers s'intéressent à l'aléa, à la résistance et aux dommages subis par les constructions.

Le séisme de Lorca a attiré des techniciens, des architectes, des géologues de plusieurs universités espagnoles et européennes, et plusieurs rapports géologiques et d'analyse des types de construction ayant le mieux résisté ont été publiés (Gómez et al.; Rodríguez et al. 2011; García Sendé 2012; López-Comino et al. 2012; Diaz 2011; Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012; Santoyo 2012; Tibaduiza et al. 2012; Vissers et Meijninger 2011).

Les sciences sociales contribuent également à la connaissance du phénomène en évaluant la fragilité des populations ainsi que les conséquences des séismes sur la société et les capacités de ces dernières à absorber le choc de l'événement et à s'en remettre (Janssen 2007). Dans le cas de Lorca, les travaux qui se sont intéressés aux impacts sociaux de l'événement ont surtout porté sur l'analyse de la réponse des services de sécurité (*Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia)* 2011) ou bien sur les aspects à améliorer pour le futur (renforcer l'éducation en se basant sur les « leçons apprises » de l'événement) (Alfaro et al. 2011; Martínez Moreno et al. 2012; Santamaría, López, et Alguacil 2012). Ainsi, avoir la possibilité de travailler sur un cas comme celui de Lorca permet de faire un zoom sur des aspects sociaux peu étudiés : la réponse des individus et leur mobilité lors de l'événement précis.

1.3 Contexte général de la thèse

Les travaux sur les risques se nourrissent des événements, catastrophiques ou non, pour connaître les spécificités liées à chaque type de phénomène (Léone et Vinet 2007). Dans le monde entier et notamment à proximité des grandes failles, les tremblements de terre sont des événements qui ne relèvent pas de l'extraordinaire. Cependant, dans le contexte du bassin méditerranéen, la grande majorité des séismes sont imperceptibles sans instruments de mesure.

A proximité des grandes failles, comme par exemple en Californie, les sociétés ont cru essentiel de se protéger face à ce phénomène très récurrent, en perfectionnant les systèmes d'information ainsi qu'en améliorant la législation en matière de construction parasismique. Cependant, dans le contexte du bassin méditerranéen, les séismes ne sont pas aussi fréquents. La société est généralement moins bien préparée aux séismes, en comparaison avec d'autres phénomènes naturels plus récurrents. Les chercheurs en géosciences se chargent de créer la technologie nécessaire pour détecter les mouvements et pour les modéliser, dans l'objectif de cerner les territoires les plus propices à subir des tremblements de terre. De la même manière, les géographes et historiens essayent de reconstruire les événements historiques à partir de l'analyse de leurs conséquences. Tout cela participe à la délimitation de zones plus ou moins étalées potentiellement exposées aux séismes.

D'un point de vue opérationnel, les normes de construction évoluent au rythme des événements (Aribert 2002) et les cartes de zonage du risque sismique intègrent à chaque révision une plus grande portion du territoire (Frechet 1978; Martin et al. 2002; SISMORESISTENTS 2003). En d'autres termes, des séismes de plus en plus forts sont attendus et dans un nombre toujours plus grand de régions. Ce constat est observé aussi bien en France qu'en Italie ou en Espagne.

Cependant, alors que les nouveaux édifices sont construits selon des normes parasismiques de plus en plus restrictives, quelles garanties nous offrent le parc immobilier construit il y a 10, 20, 50 ou 100 ans ? Des études de vulnérabilité physique (du bâtiment) s'intéressent à cette thématique (Bonett Díaz 2003; Combescure, Guéguen, et Lebrun 2005). Cependant, déterminer quels sont les types de constructions les plus fragiles ou identifier les bâtiments les plus vulnérables d'une ville n'entraîne pas nécessairement une réduction de cette vulnérabilité (Alfaro et al. 2011). En effet, adapter tous les bâtiments aux tremblements de terre (ou à d'autres risques) constitue un coût trop élevé pour la société et, de plus, ne fait pas partie de la stratégie actuelle en termes de politiques de sécurité. De la même manière, comme nous allons le voir, même si de nouveaux bâtiments sont construits aux normes parasismiques, on ne peut garantir qu'ils ne subiront pas de dommages en cas de séisme et qu'ils n'auront pas d'effets sur les habitants (Tibaduiza et al. 2012). De cette manière, les recherches actuelles permettent d'identifier les territoires propices aux tremblements de terre, ainsi que les bâtiments les plus vulnérables. Cependant, comme nous l'avons déjà dit, le transfert et l'application de ces connaissances dans la société civile peut s'avérer limité, notamment lorsqu'il s'agit de villes où le bâti est ancien et, de fait, non construit aux normes parasismiques, donc potentiellement générateur de victimes.

En partant de ce constat, nous essayons d'apporter des éléments de réponse à la question suivante. Pour quelle raison il y a-t-il des victimes lors des tremblements de terre dans le contexte méditerranéen et plus précisément dans celui de Lorca ? Pour y répondre, nous nous sommes entre autres inspirés d'hypothèses formulées dans le cadre de travaux sur les crues rapides.

En effet, les crues rapides et les tremblements de terre sont des phénomènes très soudains qui, dans un contexte méditerranéen, se différencient entre autres par la récurrence des crues par rapport aux séismes. Depuis une dizaine d'années, ces travaux ont été capables de décortiquer les processus de mise en alerte et d'adaptation des individus face à ce phénomène (Ruin et Lutoff 2004; Ruin 2007; Ruin et al. 2008; Creutin et al. 2009; Rojo 2009; Ruin et al. 2012; Rojo et al. 2013; Ruin et al. 2013; Calianno, Ruin, et Gourley 2013). Pour ce faire, une méthodologie spécifique a été développée et les résultats ont été assez surprenants : en analysant la période de crise de plusieurs épisodes hydrométéorologiques, il a été démontré que la mobilité des individus constitue un facteur de vulnérabilité sociale (Ruin 2007). Ainsi, le fait de pouvoir, devoir ou vouloir se déplacer peut mettre les individus en danger.

Ce constat nous a motivé et guidé au long de notre thèse. Est-ce-que que la mobilité individuelle est aussi un facteur de vulnérabilité sociale aux séismes ? Le cas de Lorca est très vite devenu un cas d'étude particulièrement intéressant. Nous nous sommes demandé dans un premier temps par quels mécanismes les tremblements de terre entraînent des victimes en général, et plus spécifiquement dans le cas de Lorca. Comme, dans ce cas, aucun individu n'est décédé à l'intérieur des bâtiments, les individus n'étaient pas statiques dans leurs maisons mais en mouvement. Ce constat nous a motivé à essayer de transposer les méthodes créées pour évaluer l'exposition humaine aux crues rapides au cas des tremblements de terre et plus particulièrement à celui de Lorca.

La thèse est divisée en trois parties. La première partie pose les bases théoriques du travail et explique l'angle d'attaque privilégié ici, en s'intéressant spécifiquement à l'étude de l'exposition humaine.

La deuxième partie se divise en deux chapitres. D'abord, nous nous centrons sur la méthodologie de collecte et de traitement des données nécessaire pour l'analyse de la mobilité et de l'exposition humaine. Ensuite, nous revenons sur le séisme de Lorca. Nous proposons un regard transversal et critique, mais surtout nous mettons l'accent sur les aspects humains ainsi que les dommages et le cadre opérationnel des services de sécurité. De la même manière, nous décrivons l'ensemble des dégâts sur les bâtiment, afin de mieux cerner les dangers potentiels.

La troisième partie aborde les comportements d'exposition, soulignant les contraintes qui s'imposent aux actions en situation d'urgence. Dans un premier temps, nous insistons sur les aspects temporels et détaillons la mobilité en période de crise sismique en tant que telle. Ensuite, nous mettons en avant la composante spatiale de l'exposition individuelle sur l'échantillon étudié. Les méthodes de traitement permettant de développer ces différentes dimensions de l'exposition sont explicitées au fur et à mesure de leur développement. Enfin, nous présentons des conclusions de la thèse qui compilent tout ce qui a été révélé par l'analyse du séisme de Lorca mais aussi, plus largement, sur l'analyse de l'exposition humaine en situation de crise sismique. Un bilan

des apports et des limites de l'étude permet de définir des perspectives de recherche à explorer.

Première Partie -

L'étude de l'exposition humaine, une

démarche inhabituelle

Chapitre 2 - Exposition versus vulnérabilité

2.1 La vulnérabilité sociale aux séismes

Dans la deuxième moitié du XXème siècle les études d'analyse sociale des risques ont permis de mettre en avant le rôle fondamental de l'homme comme facteur essentiel pour comprendre l'impact d'événements « naturels » destructeurs (White 1945). A partir des recherches de D'Ercole il y a une vingtaine d'années, les géographes français ont également pris part à ces études (D'Ercole et al. 1994; Thouret et D'Ercole 1996), se nourrissant des études de vulnérabilité. Analyser la vulnérabilité sociale consiste à s'intéresser aux comportements des individus et des sociétés en présence d'un risque, aux perceptions du risque (Glatron et Beck 2008; Glatron et Beck 2010) à la préparation des populations face aux catastrophes et aux politiques de gestion (Léone et Vinet 2006).

L'étude de la vulnérabilité prend généralement en compte les relations établies entre une société et son environnement à des échelles spatiales et temporelles plutôt larges et diversifiées et cela rend son analyse difficile (Becerra 2012). Concernant les séismes, ces études ont généralement pour objectif de quantifier la *propension d'un lieu à être endommagé*, en regardant les points faibles de ses constructions ou de son organisation individuelle et collective (D'Ercole et al. 1994). Dans leur analyse bibliographique sur la vulnérabilité, Léone et Vinet (2007) évoquent la diversité des études qui utilisent le concept de vulnérabilité, et font apparaître deux grandes approches complémentaires (Léone et Vinet 2007). D'un côté l'approche rétrospective inscrite dans le cadre des retours d'expérience, de l'autre l'approche prospective, inhérente aux procédures d'évaluation des risques. « *Les premières nourrissent les deuxièmes et aident à calibrer les diagnostics de vulnérabilité, eux-mêmes utiles à la mise en œuvre de scénarios (ou simulations) d'endommagement, de pertes ou de gestion de crise* » (Léone et Vinet 2007). Si ce travail de thèse ne vise pas à faire une analyse de la vulnérabilité, il nous semble intéressant de nous intégrer dans l'approche prospective, cherchant autant que possible à apporter des

éléments utiles pour la prévision et la simulation d'événements sismiques (Truong et al. 2013).

Cette approche centrée sur la vulnérabilité laisse à l'exposition un caractère secondaire, du fait notamment des difficultés rencontrées pour caractériser l'interaction entre élément exposé et phénomène (Reghezza 2006). Travailler sur l'exposition n'est donc pas une pratique courante et peut sembler réductionniste. Beaucoup d'études des risques conçoivent en effet l'exposition comme un des facteurs de la vulnérabilité ; pour d'autres, vulnérabilité et exposition sont confondues. Dans cette étude, nous préférons concevoir ces deux concepts comme théoriquement indépendants suivant ainsi la définition proposée par (Léone et Vinet 2007). Ces derniers illustrent cette indépendance par l'exemple suivant : une industrie peut être à l'abri d'une zone de glissements de terrain ; cependant si ces glissements affectent la route permettant d'accéder à l'établissement, les employés, fournisseurs, distributeurs ne pourront plus rejoindre l'entreprise et l'activité en sera interrompue. L'entreprise n'est donc pas exposée au risque mais elle est vulnérable. L'exposition se conçoit ici comme la « *concordance spatiale entre les enjeux et l'aléa* » (Léone et Vinet 2007; Lutoff 2013). Nous parlons pour notre part d'exposition humaine, focalisant l'analyse sur la coïncidence spatiale entre un danger et un (ou plusieurs) individu(s) ; l'individu est donc considéré comme agent actif de sa mise en danger ou en sécurité.

La notion d'exposition est aujourd'hui renouvelée dans des études portant sur les événements naturels extrêmes, notamment liées aux évolutions du climat mais aussi, plus récemment aux séismes (Ruiz et al. 2008; Beck et al. 2010). Les raisons qui expliquent le retour de ce concept, résident dans l'identification de situations dans lesquelles la variabilité de l'exposition des populations apparaissent comme un élément fondamental de la vulnérabilité. Autrefois centrées principalement sur une approche statique de la vulnérabilité (vulnérabilité au domicile) (Guéguen 2009; Glatron et Beck 2008), ces études s'intéressent à la mobilité comme facteur de vulnérabilité (Ruiz 2007; Beck et al. 2010). Ce courant de pensée pose la question de l'impact des nouvelles configurations socioéconomiques dans la conversion de populations définies a priori comme peu vulnérables (les adultes actifs par exemple) en populations vulnérables. Notre démarche s'inscrit dans cette perspective. Si les travaux antérieurs portent plutôt sur les phénomènes hydrométéorologiques extrêmes (crues rapides notamment), nous avons supposé que les méthodes d'analyse pouvaient être facilement transposables à d'autres phénomènes, notamment aux séismes.

Dans le cas des crues rapides les études se nourrissent principalement des événements, s'appuyant sur les retours d'expérience, avec pour objectif final de caractériser l'exposition, de comprendre comment les dynamiques physiques et sociales se conjuguent pour aboutir aux impacts observés. Dans le cas des séismes, la démarche expérimentée à Grenoble prend en compte la mobilité quotidienne au sein de la ville comme facteur de variabilité spatiale et temporelle de l'exposition. L'hypothèse est que cette mobilité peut aussi faire varier la connaissance que les individus ont du risque

sismique dans les différents secteurs de la ville selon leur statut d'occupation (habitant, travaillant, transitant dans un secteur donné), modifiant du même coup leur vulnérabilité (Beck et al. 2010). Cette démarche est clairement préventive et donc assez différente des travaux réalisés dans le cas des crues rapides qui se nourrissent davantage des évènements récurrents dans le quart sud est de la France. Le récent séisme de Lorca permet de s'inspirer de ces retours d'expériences suite à des évènements hydrométéorologiques extrêmes et de les appliquer à un évènement sismique.

Les études de vulnérabilité sociale aux séismes a également été développée en s'appuyant plutôt sur une approche quantitative centrée sur l'évaluation des dégâts au bâti et de leurs impacts humains (Gómez et al.; Tiedemann 1989). Ces études partent du principe que les bâtiments qui ne se sont pas effondrés ont accompli leur fonction de protection des occupants alors que ceux qui se sont effondrés ont « échoué ». Cette approche trouve son origine dans un constat initial fort. En effet, comme on l'observe dans la figure (Figure 1) extraite de l'article de Coburn et al, 1992 (Coburn, Spence, et Pomonis 1992), 75% des morts provoqués par des tremblements de terre sont la conséquence de l'écroulement des bâtiments principalement réalisés en maçonnerie (Figure 1). Le fait que la plupart des victimes se trouvent à l'intérieur des bâtiments fait que l'essentiel des moyens de prévention concerne le renforcement des structures pour éviter que les bâtiments ne s'écroulent (D'Ercole et al. 1994). C'est tout l'enjeu de la définition des normes parasismiques (SISMORESISTENTS 2003).

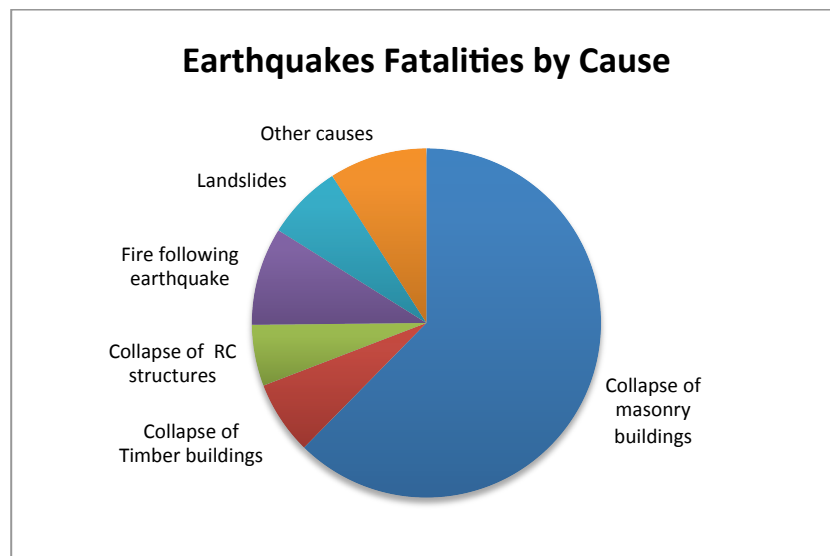


Figure 1. Causes des décès provoqués par des tremblements de terre entre 1900-1992 (N=1.528.000 décès). Rojo 2014 d'après (Coburn, Spence, et Pomonis 1992).

Les études de vulnérabilité structurelle se centrent donc essentiellement sur l'identification et la qualification des bâtiments qui sont susceptibles de s'écrouler lors d'un séisme. Ainsi, ce sont des facteurs comme l'année de construction, ou le type de construction, qui conjointement au nombre d'étages des bâtiments peuvent être des facteurs de vulnérabilité physique déterminants (Guéguen 2009).

Pour ce qui concerne la vulnérabilité humaine, les études peuvent être divisées en deux grandes catégories. Les plus nombreuses sont celles sur la connaissance des causes des morts et blessés, ou celles qui tentent de modéliser les comportements des individus à l'intérieur des bâtiments (Marano, Wald, et Allen 2010; Peek-Asa et al. 1998; Spence et So 2011; Wagner, Jones, et Smith 1994). D'autres travaux, plus proches des rapports de terrain, évaluent le risque d'une zone déterminée en réalisant des études transversales dans lesquelles le versant social se résume à l'identification des causes majoritaire de décès (Camelbeek, Barszez, et Plumier 2006). Certaines études se centrent sur les autres facteurs de décès et notamment les effets secondaires du tremblement de terre comme les glissements de terrain, la liquéfaction, les tsunamis et les incendies (Marano, Wald, et Allen 2010). Ainsi, s'il y a une focalisation logique sur les dangers dans ou autour des bâtiments, d'autres dangers moins meurtriers sont identifiés mais peu étudiés.

La majorité des études partent donc de ce constat que la plupart des morts et décès se produisent à l'intérieur des bâtiments à cause de leur effondrement. Pourtant, dans leur étude réalisée à l'échelle mondiale Coburn et al 1992 montrent aussi que l'endommagement d'éléments non structuraux (chute d'éléments de façade) peut être une cause majeure de mortalité dans les cas de séismes de faible intensité. Cette observation concerne particulièrement les séismes européens. Elle est reprise dans une étude réalisée sur les séismes en région Wallonne (Belgique et Pays-Bas) dans laquelle les auteurs concluent: « *La première cause de mortalité en cas de séisme de faible intensité est la chute d'éléments non structurels mal fixés ou peu résistants placés en hauteur: cheminées, éléments décoratifs de façade, cloisons et séparations intérieures simplement posées et non tenues en haut, vitrages, bibliothèques, équipements techniques, etc.* » (Camelbeek, Barszez, et Plumier 2006). Un autre exemple concerne le séisme de Canterbury en 2010 (Nouvelle Zélande). Un autre rapport détaille tous les dommages sur les éléments non structuraux, cependant ces derniers n'ont pas causé de victimes. Le séisme s'étant produit 4H35 AM, l'ensemble des victimes enregistrées se trouvaient à l'intérieur des bâtiments (Dhakal 2010).

Ainsi le danger lié à des éléments non structuraux n'est pas nouveau mais son étude reste descriptive et très limitée. Si nous nous centrons sur les individus et les mécanismes par lesquels ils deviennent des victimes dans des situations de séismes de faible intensité, les conditions d'exposition doivent être questionnées à nouveau. Au préalable, il est nécessaire de clarifier les liens entre exposition et vulnérabilité et la définition de l'exposition elle-même. Selon Gallopín (2006) un système pourrait être très vulnérable sans être exposé à une perturbation, car l'exposition est indépendante de la vulnérabilité. On observe bien cela dans le cas de Lorca : les communes limitrophes

même si elles n'ont pas été directement exposées à la secousse, se révèlent vulnérables parce que très dépendantes du centre économique le plus proche qui lui s'est vu affecté.

Ainsi ce qui nous intéresse pour définir l'exposition est le fait que l'exposition est bien la confluence spatiotemporelle entre une perturbation avec ses attributs caractéristiques (fréquence, magnitude, intensité, vitesse, durée) et un système (c'est-à-dire, une ville, une communauté humaine, un écosystème) qui a une certaine sensibilité (plus ou moins haute) face à la perturbation ainsi qu'une capacité de réponse déterminée.

Quand une perturbation entre en contact avec le système, elle provoque des altérations sur ce système. Parmi ces altérations nous nous focalisons exclusivement sur les dommages humains.

2.2 Exposition humaine face aux séismes

En s'inspirant de la définition précédente, Léone (2008) définit donc l'exposition comme le résultat de la coïncidence spatiale, mais aussi temporelle, entre un danger (l'écroulement d'un bâtiment ou d'éléments d'un bâtiment) et un (ou plusieurs) individu(s). Comme nous l'avons évoqué précédemment, le danger majoritairement défini dans la littérature vient de l'écroulement des bâtiments. On considère ainsi qu'un individu qui se trouve à l'intérieur d'un bâtiment présente une exposition élevée, alors que s'il se trouve à l'extérieur du bâtiment il n'est pas exposé. A la suite du séisme, si tous les individus sortent des bâtiments, l'exposition humaine est donc directement réduite à néant. Néanmoins, nous pouvons facilement imaginer en regardant le cas de Lorca, qu'après le séisme, tout ou partie des bâtiments fragilisés peuvent s'écrouler sur la voie publique et potentiellement affecter les passants. Or, cette question est peu traitée dans la littérature, du fait de la proportion très largement supérieure des victimes à l'intérieur des bâtiments (Okada et Takai 2000).

Sur cette base, l'exposition est souvent l'objet de travaux de modélisation qui essayent d'anticiper le nombre de victimes potentielles, et les causes des dommages corporels (Davoine et al. 2012; Truong et al. 2013). Même si le terme d'exposition n'est pas utilisé dans ces travaux, il s'agit de prendre en compte la distribution des populations dans l'espace et dans le temps pour préciser au mieux la vulnérabilité sociale face aux séismes et le nombre potentiel de victimes (Davoine et al. 2013). Cependant l'incertitude relative à la modélisation est très importante et apparaît très nettement lorsqu'on met en relation les différents scénarios proposés par ces modèles avec les situations réelles (Spence et So 2011). Le cas de Lorca offre justement une situation réelle qui peut aider à la calibration de tous ces modèles.

Pour cela, nous avons voulu comparer l'approche statique et dynamique de l'exposition humaine aux séismes dans le milieu urbain. Le concept d'approche dynamique et statique se retrouve aussi bien dans les travaux sur les crues rapides que sur les séismes (Lutoff 2013; Beck et al. 2010). Cette conceptualisation met en avant l'intégration de la mobilité et des facteurs non statiques dans les approches de la vulnérabilité sociale. La figure suivante représente l'exposition statique, la plus couramment traitée (Figure 2).

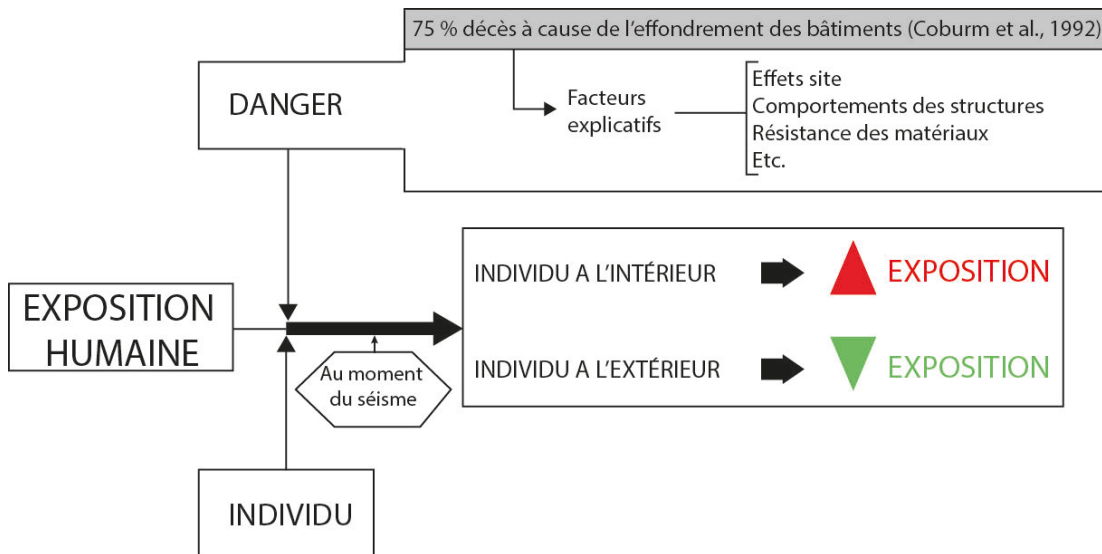


Figure 2. Conceptualisation de l'exposition statique caractérisée par la confluence spatiale de l'individu et du danger (l'effondrement du bâtiment). Dans cette conception, au moment du séisme, l'individu à l'intérieur est exposé alors qu'à l'extérieur du bâtiment l'exposition est nulle.

Le danger réside ici dans l'effondrement des bâtiments dont les facteurs explicatifs ont été largement détaillés dans la littérature. Dans ce cas les individus qui se trouvent à l'intérieur des bâtiments voient leur exposition augmenter, alors qu'à l'extérieur l'individu n'est pas exposé. De cette manière l'exposition humaine statique (ou classique) conçoit que l'exposition peut être possible seulement au moment de la secousse.

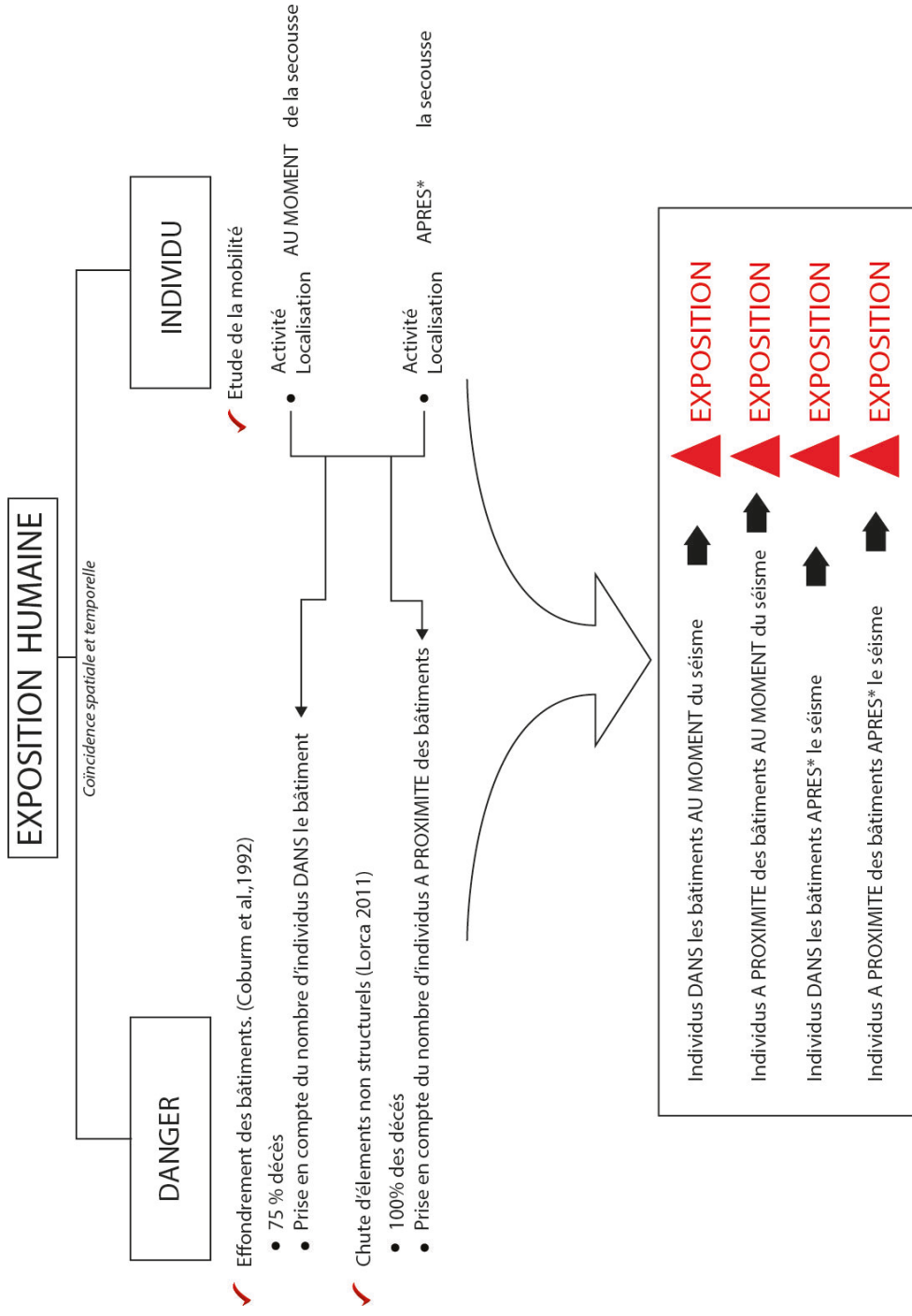
Dans le cas de Lorca, sur les 9 décès enregistrés, aucun ne s'est produit à l'intérieur des bâtiments. Les victimes se sont faites piéger quand elles étaient sur la voie publique à proximité des bâtiments. Pour huit d'entre eux, ce sont les débris provenant des bâtiments proches qui ont provoqué la mort. Un seul individu est décédé à cause de l'écroulement d'un édifice, mais cette personne n'était pas à l'intérieur du bâtiment au moment de la mort (Alfaro et al. 2011). Pour mieux comprendre ce qui s'est joué à Lorca, nous proposons d'utiliser une approche dynamique de l'exposition en intégrant la mobilité humaine en période de crise sismique à l'évaluation de l'exposition.

Comme dans l'approche statique (ou classique), l'exposition humaine se construit à partir de la coïncidence spatiale et temporelle entre l'individu et le danger (voir Figure 3). Cependant le fait d'intégrer que les individus sont exposés à l'extérieur des bâtiments et pas seulement à l'intérieur, force à adopter une approche dynamique. Si les individus sont exposés aussi à l'extérieur des bâtiments cela veut dire qu'il ne suffit donc pas de sortir des bâtiments pour réduire l'exposition mais qu'il faut s'éloigner des zones construites, voire sortir de la ville pour ne plus être exposé. Cela oblige donc à intégrer une autre dimension temporelle : non seulement il faut prendre en compte le moment du séisme, mais aussi l'après crise.

Les études portant sur les dangers liés à l'effondrement des bâtiments ne sont pas nouvelles. Elles sont généralement réalisées par des architectes, des ingénieurs des structures ou encore par des techniciens au contact de géologues (Guéguen 2009). Par contre, aucune d'elles ne parle des décès causés à l'extérieur des bâtiments. Nous proposons donc, à partir de l'expérience de Lorca, d'explorer cette partie de l'exposition laissée dans l'ombre et de renouveler ainsi la manière de concevoir l'exposition humaine en période de crise sismique en milieu urbain dans des zones à risque modéré.

Etant donné le faible nombre de morts et blessés observés lors du séisme de Lorca, les facteurs explicatifs de ce danger ne sont presque pas étudiés. L'étude de la mobilité est ainsi essentielle pour comprendre l'exposition : si sortir des bâtiments continue d'être une consigne valide à la suite de la secousse, son application n'est pas sans danger et les individus qui passent à proximité des bâtiments fragilisés continuent d'être exposés (Figure 3). Par ailleurs, certaines des victimes dans le cas de Lorca n'étaient pas en train de sortir des bâtiments endommagés, mais circulaient simplement à proximité de ces derniers. Ce danger spécifique dans la rue est illustré dans la figure suivante extraite d'une étude réalisée à la suite du séisme de Lorca (Figure 4) (Vidal, F et al., 2013). Dans cette illustration, le danger vient directement d'éléments de façade, une enseigne par exemple. Considérons de même le danger que représente la chute d'une corniche à la suite d'une secousse sismique. Au moment d'une secousse on imagine que la moitié de la corniche est précipitée sur la voie publique. Nous cherchons à estimer ici quelles sont les conditions nécessaires pour que cette chute affecte un ou plusieurs individus, selon le contexte spatial et temporel dans lequel elle se produit (Figure 3). Si l'autre moitié de la corniche reste en équilibre, passer sous cet élément conduit à s'exposer de nouveau, notamment en cas de répliques.

Dans cette approche dynamique, l'exposition décroît donc seulement lorsque les personnes s'éloignent des bâtiments fragilisés et lorsque l'ensemble de la zone sinistrée est évacué. L'estimation de l'exposition suppose donc de comprendre quelles sont les mobilités des populations à l'intérieur de cette zone jusqu'à totale évacuation.



APRES* : Dans les minutes qui suivent la secousse.
 Dans les heures et jours qui suivent en cas de réplique (sensibilité aux tâches de sécurisation de la ville).

Figure 3. Conceptualisation de l'exposition humaine dynamique adaptée au cas de Lorca.

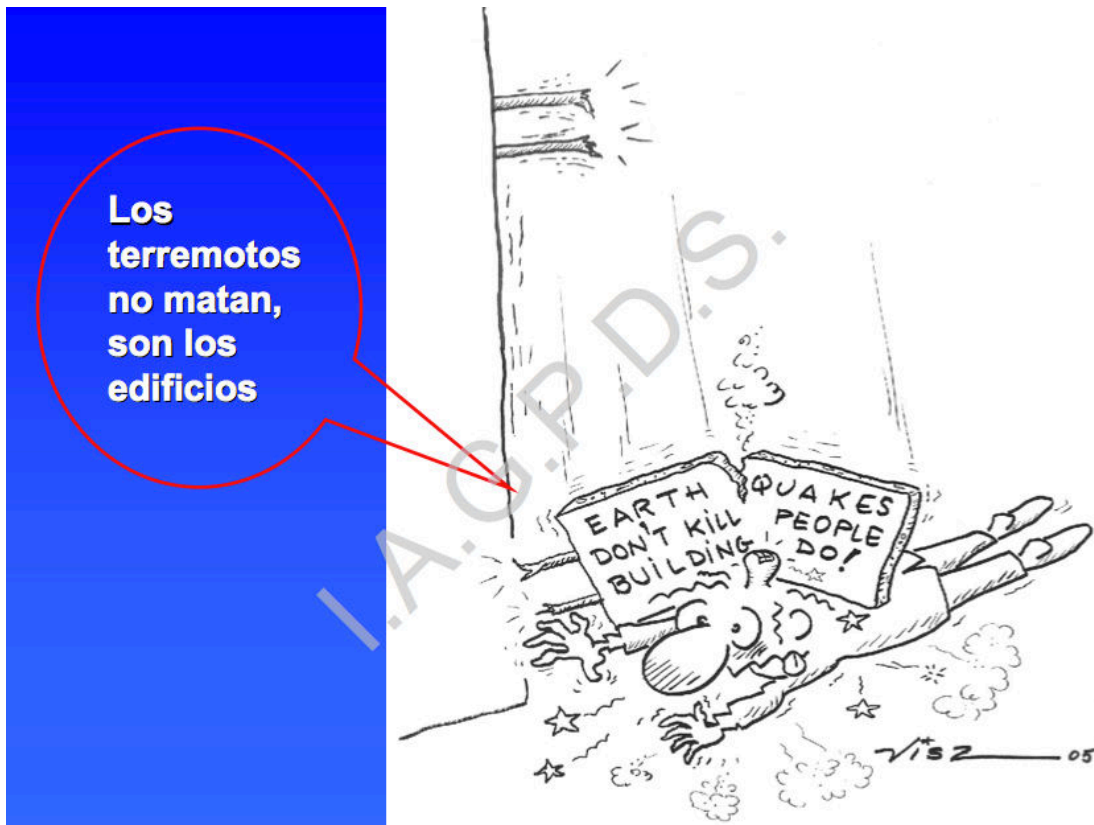


Figure 4. Les tremblements ne tuent pas, les bâtiments oui. Image extraite d'une des premières analyses apparues après le séisme de Lorca. *El terremoto de Lorca de 2011. Causas del impacto y primeras medidas. Análisis preliminar, de l'Instituto Andaluz en Geofísica* (<http://iagpds.ugr.es>) (Vidal, F et al., 2013).

2.3 A la recherche d'une échelle d'analyse plus fine

Le séisme de Lorca a mis en relief que toutes les victimes d'un séisme ne sont pas dues à la présence d'individus dans un bâtiment lorsque celui-ci s'effondre. La chute des éléments de façade avait déjà été identifiée comme un danger mais associée aux blessures et non aux décès (Peek-Asa et al. 1998). Dans le cas de Lorca c'est la seule cause des neuf décès enregistrés. Comment le fait d'introduire ce facteur vient-il questionner à nouveau la notion d'exposition humaine ? Nous pouvons déjà imaginer qu'il altère la dimension spatiale de cette notion car, si antérieurement le lieu d'exposition était considéré uniquement à l'intérieur des bâtiments, il s'étend maintenant à l'extérieur. Cela implique donc la prise en compte de la mobilité des populations à une échelle très fine. Nous souhaitons donc analyser la mobilité en période de crise sismique afin de traiter la question suivante : **Sommes-nous capables d'identifier les caractéristiques principales de la mobilité humaine en période de crise sismique ?** De la même manière, étant donné que la consigne de sécurité était d'évacuer

la ville, nous nous demandons, comment cette évacuation s'est déroulée et comment elle a influencé l'exposition.

Une autre question que nous voulons aborder fait référence aux actions entreprises par les services de sécurité. Celles-ci ont-elles été adaptées à l'événement ? Quels ont été les points forts de la réaction et les aspects qui pourraient être améliorés ? **En quoi le rôle des services de sécurité a-t-il pu altérer la mobilité de la population et donc l'exposition ?**

Enfin, la question du rôle joué par le séisme précurseur sur la réaction des populations nous intéresse particulièrement. Certaines études antérieures montrent en effet que ces séismes précurseurs permettent de diminuer le nombre des victimes lors de séismes importants. C'est ce que montre le cas du séisme à Pisco (Pérou) en 2009 (Spence et So 2011). Des séismes précurseurs ont été suffisamment importants pour inciter les personnes les plus vulnérables à sortir des immeubles ce qui explique le nombre étonnamment faible de victimes (Spence et So 2011). De la même manière, d'autres exemples plus proches, comme les séismes de l'Aquila en 2009 ou d'Assises en 1997, ont été également précédés d'un séisme précurseur. **Peut-on considérer les individus en situation d'alerte, même si ce terme se prête généralement mal à la menace sismique ? Cette situation a-t-elle modifié les comportements des individus ? Assiste-t-on à des formes de mise en alerte et d'adaptation des activités du quotidien à la suite de la première secousse ?**

Plusieurs articles sur les séismes de Lorca s'accordent pour affirmer que le premier séisme a servi d'alerte et a été une chance pour la population afin de réduire les dommages corporels (Alfaro et al. 2011; Rodríguez et al. 2011; Martínez 2012). Au niveau collectif, plusieurs protocoles de sécurité ont été activés après le premier séisme, faisant qu'au moment de la deuxième secousse, les services de sécurité se trouvaient déjà dans la ville ou en direction de Lorca (Santamaría, López, et Alguacil 2012). Nous pouvons supposer que ces circonstances ont pu sauver des vies notamment dans le bâtiment qui s'est effondré avec la deuxième secousse. Cependant, le premier séisme a provoqué également qu'un grand nombre de personnes sorte dans les rues (Alfaro et al. 2011). Cela a peut-être joué un rôle dans le fait que tous les décès se soient produits à l'extérieur des bâtiments, sur les voies publiques. **Dans ces circonstances, faut-il voir le séisme précurseur comme une chance ou au contraire comme un facteur aggravant de l'exposition ?**

Il est certain que ce premier séisme a joué un rôle clé et plusieurs individus interrogés au cours de la thèse disant s'être trouvé en situation d'alerte ou de semi-alerte après cette première secousse. On se trouve ainsi dans des conditions comparables à celle des crues rapides, ce qui nous a encouragé à adapter la méthodologie développée pour l'analyse des réponses sociales face à ce type de phénomènes (Ruin et al. 2013). Sur ce modèle, notre analyse va donc se nourrir de la mobilité observée, ainsi que des données disponibles sur les dangers (à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments). Elle va

nous permettre d'identifier les individus qui sont le plus exposés, et ceux qui ne n'exposent pas. L'étude des activités et des actions des individus au moment de l'événement (actions reconstituées à la partir de leurs témoignages) nous permettra de cibler les comportements qui entraînent une augmentation de l'exposition et ceux qui par contre aident à la minorer.

Chapitre 3 - Observer l'exposition-adaptation en période de crise sismique

Notre objectif est donc de mieux comprendre ce qui contribue à augmenter ou au contraire à diminuer l'exposition. Comprendre comment l'exposition peut être réduite suppose d'interroger les capacités de s'adapter à la situation et de se protéger. Le questionnement est d'autant plus pertinent dans une situation de mise en alerte, qui est l'une des conditions nécessaires pour la mise en œuvre de l'adaptation. Les travaux les plus fréquents dans ce domaine, sont ceux qui traitent de l'adaptation de l'homme ou des sociétés à de grands changements environnementaux (Adger et Barnett 2009). Le changement climatique est de nature lente et étendue même s'il peut être associé à des risques naturels très rapides et au niveau local (les phénomènes hydrométéorologiques extrêmes par exemple). Utiliser ce terme à une échelle fine avec un risque beaucoup plus soudain semble pouvoir donner de bons résultats (Lutoff 2013). Dans cette section nous ferons un tour d'horizon sur l'adaptation, qui permet (ou non) de limiter l'exposition humaine. Nous analyserons également quelles sont les informations mises à disposition de la population préventivement pour favoriser cette adaptation au moment de la crise (les consignes de sécurité notamment).

3.1 Diminuer l'exposition : processus d'adaptation lors de la crise

Les travaux qui concernent les phénomènes naturels extrêmes s'intéressant à l'exposition sont plus avancés dans d'autres domaines que celui des séismes. En Europe, il est probable que la plus haute récurrence des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes tels que les crues rapides, ont provoqué un développement plus rapide des études de la dimension sociale des risques, que pour les séismes. Cependant, « *si leur origine est fondamentalement différente, ces deux types de phénomènes se ressemblent par leur soudaineté* »

et leur violence, entraînant des pertes humaines importantes » (Lutoff 2013). Ainsi les séismes et les crues rapides présentent des taux de mortalité³ singulièrement hauts. Plus précisément 3,62 % pour ce qui concerne les crues rapides et 3,10 % pour les séismes (Barroca, Pottier, et Lefort 2005; Jonkman 2005).

Il ressort des études récentes sur l'exposition à des phénomènes hydrométéorologiques extrêmes que les individus, plutôt que de s'exposer d'une manière délibérée et consciente, essayent par tous les moyens de poursuivre leurs activités quotidiennes malgré les dangers (Ruin et al. 2013). C'est cette envie (ou obligation) de poursuivre leurs activités normales qui finit par mettre ces personnes en contact spatial avec le danger (par exemple en voulant croiser une route partiellement inondée pendant qu'ils vont au travail). Ainsi ces études interrogent directement les capacités d'adaptation ou au contraire les résistances au changement et le maintien dans les activités quotidiennes. Dans ce contexte, il est important de connaître quels sont les signaux ou informations capables de provoquer un changement dans les comportements quotidiens.

Nous trouvons beaucoup de similitudes dans notre analyse, notamment pour ce qui concerne les questionnements initiaux. Ainsi, comme nous l'avons déjà évoqué, dans le cas de Lorca le premier séisme a pu générer une situation de pré-alerte, comparable à celle que l'on peut rencontrer lors des crues rapides. Ce premier séisme n'a provoqué que de petits dommages. Certains ont vu là le présage d'une crise plus violente, alors que d'autres ont continué leurs activités quotidiennes sans se soucier de la secousse. Quel impact a finalement eu cette situation sur l'exposition humaine et le bilan des victimes?

Après le second séisme et les dégâts qu'il a produit, la totalité des personnes sont plus ou moins conscientes qu'elles se trouvent dans une période de crise sismique. Nous imaginons que les motivations de la population dans cette période ne vont pas relever du quotidien. Cependant la perception du danger ainsi que ce que chaque individu considère comme des obligations vont être différentes. Sur les images retransmises par les medias quelques heures après la secousse principale, la ville semble encore très peuplée. Pour quelles raisons les individus continuent-ils à s'exposer aux bâtiments visiblement fragilisés ? Pour quelles raisons certains vont-ils évacuer plus vite que les autres ?

De notre point de vue cette manière d'étudier ces phénomènes se retrouve dans des travaux qui s'intéressent aux grands changements environnementaux actuels (notamment le changement climatique). Par exemple, pour quelles raisons un individu décide-t-il d'attendre pour évacuer ? Et pour quelles raisons les politiques d'un état ne

³ Le taux de mortalité est le pourcentage des victimes par rapport à une population donnée.

priorisent-elles pas des mesures pour réduire leurs émissions de CO₂ ? A partir de quel moment la personne va prioriser son évacuation ou un pays sa contribution au changement climatique ? Les raisons qui vont faire déclencher ses processus relèvent de l'adaptation.

Alors que notre travail conçoit l'adaptation à l'échelle individuelle, l'essentiel des travaux dans ce domaine conçoit l'adaptation à une échelle macroscopique. Ainsi, à une échelle macro l'adaptation constitue, conjointement avec la résilience, des besoins que les états ou les régions doivent intégrer dans leurs politiques, afin de réduire leur vulnérabilité aux changements environnementaux (Adger 2006). A échelle locale et plus précisément en période de crise sismique que-ce-que les experts préconisent ? Comment conseillent-ils de s'adapter aux séismes?

3.2 Que faut il faire en cas de séisme ?

Nous nous sommes intéressés aux comportements qui sont préconisés en cas de séismes. Nous avons cherché avec Google Images ce que les personnes pouvaient trouver facilement comme informations se référant aux consignes de sécurité, ces dernières constituant des outils d'aide à l'adaptation. Elles ont pour objectif que cette adaptation se fasse de manière la plus rapide et harmonieuse possible en situation de danger, contribuant à diminuer à chaque action la possible exposition humaine.

L'exercice a été fait en français (Figure 5) en espagnol (Figure 6). En limitant seulement aux consignes en espagnol nous avons peur de tomber sur des plaquettes créées en Amérique du Sud où il y a des séismes plus forts qu'en Espagne. Nous avons donc également regardé les consignes en France pour nous assurer que nous avons les plaquettes d'un pays à risque modéré. Les informations apparaissent finalement assez semblables et il semble y avoir un relatif consensus en ce qui concerne les consignes de sécurité à préconiser en cas de séisme quels que soient les pays.

Sur 15 plaquettes, 10 partent de l'hypothèse selon laquelle les individus se trouvent à l'intérieur des bâtiments et une grande partie des informations indiquent donc les comportements à suivre dans les bâtiments. Certaines études analysent les espaces vides où des personnes pourraient se protéger en cas d'écroulement de leur maison (Okada et Takai 2000). Cela repose sur le constat déjà évoqué selon lequel les dommages corporels se produisent essentiellement à l'intérieur du domicile. Seulement 5 plaquettes parlent de ce qu'il convient de faire si les personnes sont à l'extérieur des bâtiments pendant le séisme. La représentation temporelle est fréquemment utilisée et évoque les consignes spécifiques à chacune des trois périodes suivantes : « avant », « pendant », et « après » le séisme. Il est préconisé qu'après un séisme les individus cherchent des espaces ouverts, mais l'information s'arrête là. Que faire alors si l'espace

ouvert est situé au milieu d'une ville ? Faut-il privilégier l'espace ouvert le plus proche ou tenter de s'éloigner des zones urbaines potentiellement dangereuses ?

Dans notre étude, nous considérerons le temps entre la secousse principale et le moment où l'individu est en sécurité hors de la ville comme correspondant à la période de crise. Dans la suite du document, nous allons exposer les raisons qui nous ont poussés à nous focaliser sur cette période.



Figure 5. Consignes de sécurité issues d'une recherche sur Google Images en français : "Que faire en cas de séisme".

3.3 Définition de la période de crise sismique

Définir la période de crise d'un double événement comme celui de Lorca présente quelques difficultés étant donné que la première secousse a été moins forte que la deuxième. Ainsi d'après certains rapports le premier séisme a activé certains protocoles des services de sécurité comme nous le détaillerons par la suite, cependant les dégâts ont été très minimes. La période entre les deux secousses fait-elle partie de la période de crise ? Un des objectifs de cette thèse est de voir comment l'exposition humaine est altérée par les déplacements des individus durant cette période de crise sismique. Pour cela il nous paraît essentiel de connaître la mobilité de la population sur l'ensemble de l'événement. C'est-à-dire notamment connaître comment le premier séisme a pu altérer la localisation des personnes au moment de la deuxième secousse. Cependant, cette période intermédiaire ne fera pas l'objet d'une analyse quantitative de l'exposition humaine. L'exposition humaine est définie comme la confluence spatiale entre le danger et l'individu, pour l'analyser, il est nécessaire que le danger soit réel et établi, circonstance qui ne se vérifie pas dans la période qui suit le premier tremblement de terre. Ainsi, nous analyserons l'effet de la mobilité après la secousse, mais l'exposition sera calculée uniquement pour le second séisme.

Les travaux qui se centrent sur cette période de crise ne sont pas nouveaux. Des travaux datant de la fin des années 80 et du début des années 90 ont mis en avant l'importance de s'intéresser aux périodes de crise sismique (Quarantelli 1982; Goltz, Russell, et Bourque 1992; Bolton 1993). Ces études, principalement quantitatives, construites à partir d'échantillons importants, se concentrent sur les principales actions des individus, les dommages subis, et les raisons qui les ont amenés à évacuer. Elles apportent des informations statistiquement valables qui nous aident à comprendre quelles sont les principales activités réalisées par les individus affectés, mais ces informations sont déconnectées d'un moment et d'un lieu finement définis. Ces analyses ne permettent donc pas d'évaluer un possible différentiel d'exposition en fonction des activités entreprises, c'est-à-dire d'estimer si ces activités entraînent une augmentation, une diminution de l'exposition humaine ou si elles n'ont pas d'incidence sur celle-ci. De plus, il nous est impossible de contextualiser les décisions qui amènent les individus à adopter tel ou tel comportement ; nous sommes ainsi dans l'incapacité de cibler les comportements dits à risque, dans un moment et un endroit déterminés.

De la même manière, de nombreuses études en psychologie environnementale se focalisent sur les facteurs qui conditionnent les comportements face à une menace, donc en période de crise. Les facteurs observés de manière récurrente sont la personnalité de l'individu, son âge, son groupe ethnique ainsi que sa situation économique ou les mécanismes usuels auquel il a recours pour faire face à un problème (Cohén 1985). D'autres auteurs décrivent les mécanismes conscients et inconscients en jeu lorsque les personnes doivent réagir en période de crise (Campillo Cascales et al. 2004). Cependant, ces travaux sont aussi déconnectés du lieu et du moment spécifique

de l'événement, répondant plutôt aux besoins spécifiques des personnels d'accompagnement psychologique des survivants intervenant au moment d'une catastrophe.

Si on se tourne vers les études de comportements en situation d'alerte face à d'autres types de phénomènes que les séismes, les travaux sont plus avancés. En 2004, I. Ruin et C. Lutoff mettent en relation les comportements de 30 individus confrontés à une crise hydrométéorologique et aux différents niveaux d'alerte associés (alertes orange et rouge de Météo France) (Ruin et Lutoff 2004). Les auteurs mettent en relation les facteurs de prise de décision avec les actions mises en œuvre, actions qui peuvent entraîner une augmentation ou une réduction de l'exposition des individus (Ruin et Lutoff 2004). Ces travaux ont montré qu'au-delà des vulnérabilités sociales classiques (propres aux personnes âgées ou aux jeunes enfants qui se trouvent dans l'incapacité d'évacuer), une autre catégorie d'individus apparaît spécialement vulnérable face aux phénomènes hydrométéorologiques extrêmes. Ce sont principalement des hommes, d'un âge moyen de 43 ans, qui se trouvent confrontés à l'événement hydrométéorologique lors de leurs déplacements. Ces travaux mettent en évidence que cette vulnérabilité spécifique concerne particulièrement les petits bassins versants très réactifs (Ruin et al. 2008), où la mobilité apparaît comme un facteur majeur de vulnérabilité sociale.

Par analogie, nous avons cherché à savoir si se déplacer dans la ville à la suite d'un séisme pouvait également induire une fluctuation de l'exposition. Comme dans le cas des crues rapides, la composante spatiale exceptionnelle de l'évènement de Lorca (mortalité à l'extérieur des bâtiments) laisse supposer l'importance du contexte spatial et temporel dans l'exposition sociale au séisme. En partant de cette analogie nous souhaitons ainsi comprendre comment évolue l'exposition individuelle dans le temps immédiat après un séisme pendant la période de crise, notamment du fait de la mobilité des individus.

Comment délimitons-nous les échelles spatiales et temporelles analysées? D'abord nous avons délimité l'espace. Le séisme a été concentré dans la ville de Lorca. A seulement quelques kilomètres de la ville les dégâts sur des maisons sont inexistantes (Alfaro et al. 2011; Tibaduiza et al. 2012). Nous avons donc concentré l'étude sur le centre urbain de Lorca. De la même manière nous avons pu appliquer le concept d'évacuation pour notre cas grâce à cette délimitation. Sortir de la zone impactée par le tremblement de terre entraîne une évacuation et donc, également, une diminution de l'exposition. Par conséquent, la fenêtre temporelle prise en compte est également délimitée par l'évacuation. Quand un témoin sort de la ville et n'y retourne plus avant le lendemain nous estimons qu'il n'est plus en période de crise sismique. Donc la récolte des données pour cette personne est terminée.

Sortir d'un bâtiment, aller dans un espace ouvert, ou évacuer entraîne une mobilité. L'objet de la section suivante est de montrer comment elle est conçue et étudiée.

3.4 Le rôle de la mobilité en période de crise

Pour ce qui concerne la mobilité, plusieurs facteurs peuvent être considérés comme influents sur l'exposition. Selon le moment de la journée ou le jour de la semaine et le lieu, le territoire est occupé de manière différente. Ainsi un séisme qui affecte une zone résidentielle va exposer plus de personnes dans la nuit que pendant la journée. Donc les mouvements quotidiens (domicile-travail par exemple) mais aussi les mouvements hebdomadaires, saisonniers (touristiques notamment) sont très importants dans l'analyse (Spence et So 2011; Tiedemann 1989). Par exemple, un mois avant le séisme, Lorca a célébré la « *Semana Santa de Lorca* », un événement qui fait augmenter la population d'un tiers et provoque une concentration massive d'individus dans la rue principale (Juan Carlos I). Lors du séisme, les bâtiments de cette avenue ont provoqué des chutes de débris très importantes sur la voie publique.

Afin de mieux comprendre comment nous appréhendons cette mobilité, nous présenterons de manière très succincte les principales caractéristiques de la démarche méthodologique suivie et les travaux qui nous ont servi de référence.

Afin d'estimer l'exposition humaine, nous devons connaître la situation la plus précise possible des individus tout au long de la journée du 11 mai. En France, il existe des données de type Enquêtes Ménages et Déplacements (EMD) qui constituent une source très intéressante de données pour l'analyse de la mobilité des populations, cependant ce type d'étude et de données n'existent pas en Espagne. Même si les données de la France ne sont pas transférables, elles ont été à l'origine de plusieurs travaux dont nous nous sommes inspirés. Il s'agit de travaux et méthodes développés depuis quelques décennies pour estimer les mobilités quotidiennes de la population à l'échelle d'un territoire (généralement une agglomération urbaine), s'inspirant de la « *Time Geography* » (Chardonnel et Stock 2005; Thévenin, Chardonnel, et Cochet 2007). Ces études modélisent les mouvements de la population en attribuant des activités à chaque lieu fréquenté (habitation, travail, etc.). Cette manière de conceptualiser les déplacements nous semble particulièrement intéressante afin de modéliser les déplacements des individus en période de crise sismique. Pour l'Espagne, il n'existe pas de données ou d'analyse précises de ces déplacements ni en période de crise sismique ni au quotidien. Ainsi nous avons dû les créer. Cependant un élément nous paraît intéressant pour le cas spécifique de Lorca.

Suite à un séisme comme celui de Lorca, les personnes doivent s'adapter immédiatement à un environnement plus ou moins altéré. On peut supposer que la prise

de conscience de la nouvelle situation et les prises de décisions qui suivent sont liées à l'évaluation individuelle et collective de ce nouvel environnement. Or, en situation perturbée (avec notamment des perturbations sur les réseaux électriques et téléphoniques) cette reconnaissance se fait principalement de manière physique, pouvant entraîner une augmentation de la mobilité individuelle. Afin d'étudier et de représenter de la manière la plus fidèle possible les déplacements des individus dans leur environnement, nous utilisons le concept de trajectoires spatio-temporelles développé par la « *Time-Geography* ». Cette approche permet une représentation de la mobilité comme une succession de lieux et de déplacements dans le temps et dans un espace finement défini (André-Poyaud et al. 2009). Cependant, cette conceptualisation est utilisée pour analyser les trajectoires quotidiennes des individus. Le transfert direct vers un contexte spécifique comme celui d'une crise sismique est-il possible ? C'est ce que nous proposons d'évaluer dans la prochaine partie.

**Deuxième partie - Analyser
l'exposition sur l'événement de Lorca**

Chapitre 4 - Méthodologie d'analyse de l'exposition humaine

Deux périodes d'enquête sur le terrain ont été nécessaires pour réaliser ce travail de thèse. Quatre jours après le séisme de Lorca, nous nous sommes rendu sur le site afin d'identifier les particularités de la situation post sismique, d'évaluer l'étendue des dégâts et l'impact sur la dynamique de la ville. Cela a permis de calibrer une enquête qualitative adaptée à la situation et permettant de collecter les données nécessaires pour la vérification des hypothèses. De la même manière nous avons pu collecter un grand nombre de documents graphiques, d'images et de vidéos notamment. Être sur place à la suite du séisme paraît indispensable afin d'imaginer et de mesurer les possibles situations vécues par les individus. Les dimensions de la ville, le cadre, l'étendue et la concentration des dégâts, ainsi que les premières mesures de sécurisation des bâtiments ont été les principaux apports de cette première visite. Nous avons aussi pu établir quelques contacts utiles pour la deuxième phase de terrain.

Neuf mois plus tard, 20 entretiens ont été réalisés auprès de la population ainsi que 7 enquêtes auprès de différents organismes qui sont intervenus lors de l'évènement, tels que la Croix Rouge, la Protection Civile ou la Police Locale. Cette période de 9 mois a été nécessaire afin de préparer toute la méthodologie d'entretien. En effet le séisme de Lorca a eu lieu 5 mois après le démarrage de la thèse. Ainsi, au début de la thèse, il n'était pas envisagé de travailler sur Lorca ni sur un séisme en particulier. Suite à la première incursion sur le terrain il nous a fallu un temps pour réorienter notre travail. De la même manière pendant cette période nous avons réalisé un travail de compilation d'informations sur Lorca et sur le tremblement de terre, afin de mieux adapter notre méthodologie. Par ailleurs, selon des contacts sur place, dans les mois qui ont suivi le séisme, la ville était pratiquement déserte, et les personnes étaient encore très traumatisés. Neuf mois après, plusieurs témoins ont confirmé qu'ils n'auraient pu faire l'entretien auparavant étant donné le traumatisme subi.

Nous avons réalisé deux types d'entretiens qualitatifs. Les premiers portaient sur la population et les deuxièmes sur les services de sécurité et les personnes qui pouvaient nous apporter des données. Les enquêtes auprès de la population ont porté sur la manière dont les individus ont réagi pendant la période de crise. Les entretiens réalisés avec les organismes intervenant au moment de la crise se sont centrés sur leur vision de l'évènement ainsi que sur leur déploiement, leur organisation et leurs actions au moment de la crise. A partir de ces données, nous avons créé une base de données SIG ainsi que des actogrammes. Dans ce chapitre, nous détaillons le processus de collecte et de traitement des données préalable à l'analyse, présenté dans les chapitres suivants. Nous avons résumé la méthodologie sur le schéma de la (Figure 7).

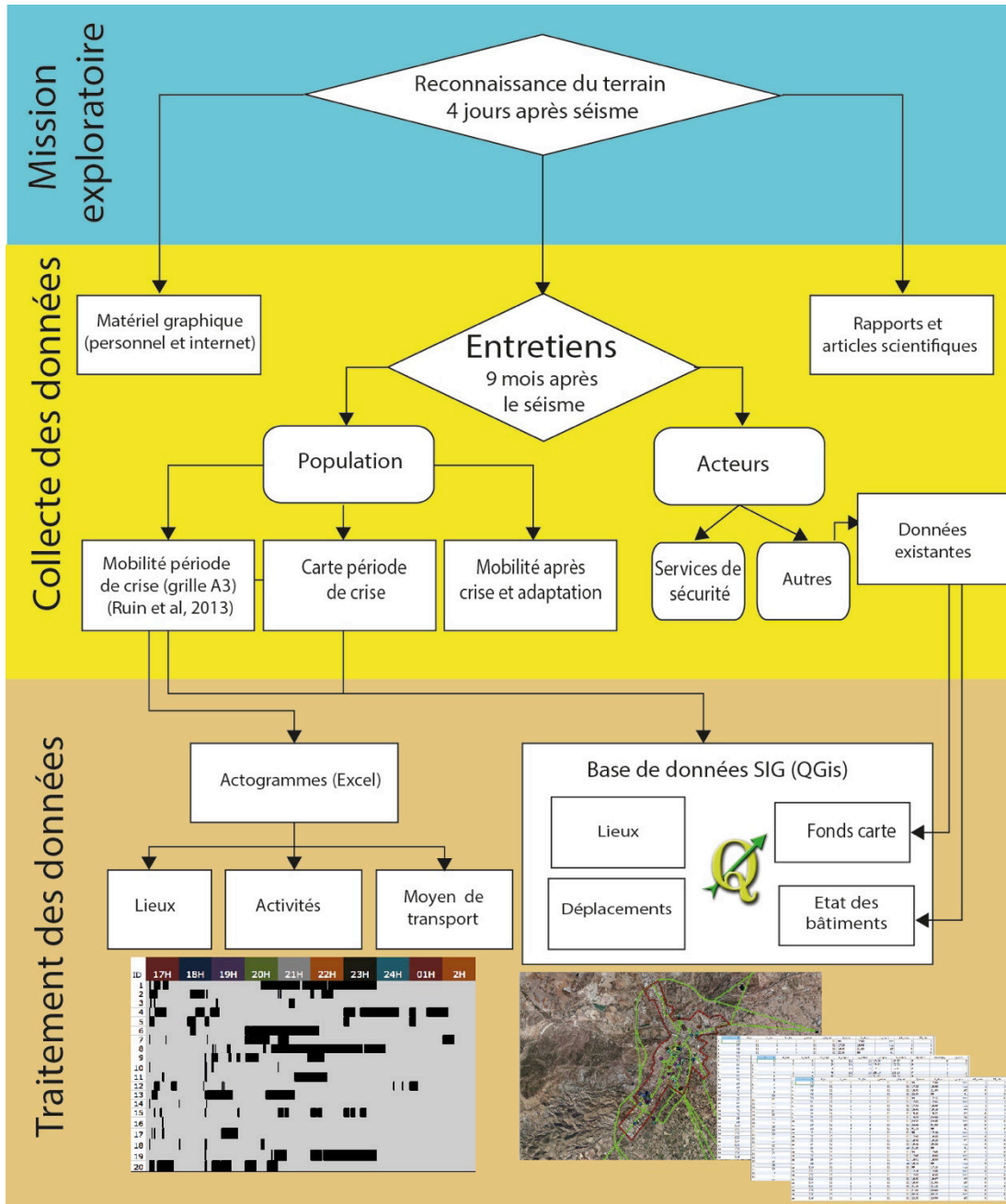


Figure 7. Schéma de la méthode de collecte et de traitement des données. Les losanges font référence aux actions sur le terrain et la collecte des données. Les rectangles aux coins arrondis font référence à la cible des données collectées. Enfin, les rectangles aux coins pointus font référence aux données brutes collectées ainsi qu'au traitement postérieur.

4.1 Les entretiens avec la population : la principale source de données

Pour la plupart des entretiens, ceux réalisés auprès de la population, nous avons appliqué un échantillonnage par boule de neige en cherchant à diversifier les situations spatiales malgré le nombre réduit d'individus interrogés. En effet, de nombreux paramètres spatio-temporels vont influencer les comportements des individus tels que le lieu de résidence, le lieu de travail, la situation au moment de la première ou de la deuxième secousse. Cependant, nous avons essayé d'avoir une représentativité spatiale pour les lieux d'habitations et la localisation au moment du premier séisme (Figure 8).

De plus, nous avons essayé d'avoir une diversité en termes d'âge et de genre (Beaud et Weber 1998). De la même manière, nous avons tenu compte du grand nombre d'étrangers présents à Lorca en intégrant aussi cette catégorie d'individus dans notre échantillon afin d'identifier des potentielles différences d'adaptation entre locaux et étrangers.

Nous montrons dans le tableau (Tableau 1) un résumé des caractéristiques de l'échantillon. Au total, nous avons réalisé 20 entretiens qui ont duré entre 1 heure et 3 heures chacun. Au cours de ces 20 entretiens, nous avons interviewé 8 hommes et 12 femmes entre 24 et 80 ans. Etant donné que 20 % de la population de Lorca est d'origine étrangère, nous avons interrogé 3 étrangers soit 14 % de notre échantillon. Finalement, nous avons souhaité une plus grande représentation des individus des quartiers les plus endommagés comme c'est le cas de la Viña (au sud de la carte) ou le centre de la ville. Cela explique la concentration de lieux de résidence de l'échantillon dans ces zones (Figure 8).

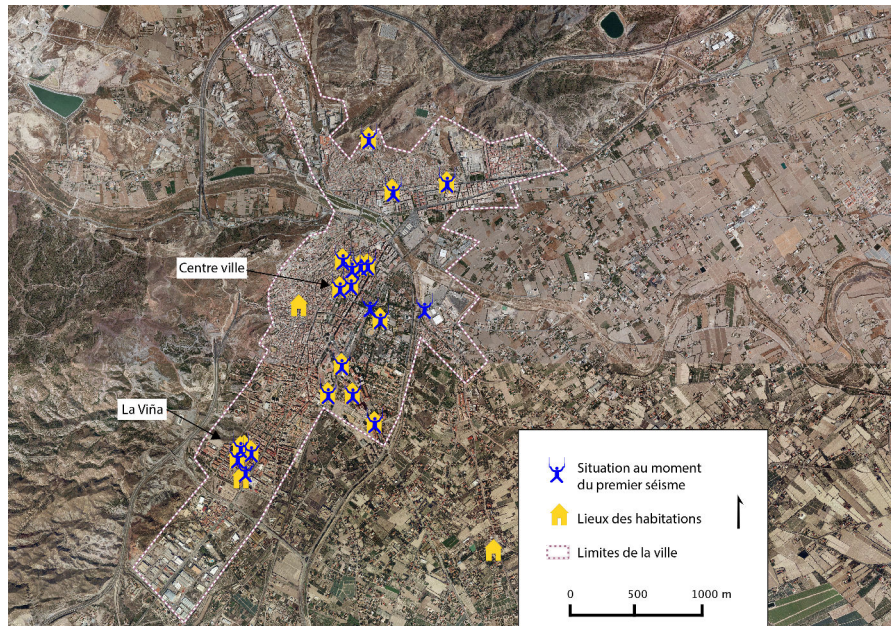


Figure 8. Localisation des individus enquêtés au moment de la première secousse et de leurs lieux d'habitation (Fond de carte : Images PNOA del Instituto Gografico Nacional).

Numéro entretien	Sexe (M/F)	Âge	Occupation	Situation familiale (code)	NB Enfants	Pays d'origine
1	F	32	Réceptionniste Hôtel	mariée	0	Espagne
2	H	56	Vendeur	marié	1	Espagne
3	F	51	Employée agence publicité	mariée	2	Espagne
4	F	36	Conseillère politique	mariée	0	Espagne
5	H	39	Salarié agricole	marié	3	Equateur
6	H	42	Physiothérapeute	marié	1	Espagne
7	F	24	Chômage	célibataire	0	Espagne
8	F	35	Vendeuse	mariée	0	Espagne
9	H	48	Professeur	marié	2	Espagne
10	F	48	Administrateur habitations	mariée	2	Espagne
11	F	54	Infirmière	mariée	2	Espagne
12	H	42	Boucher	marié	2	Espagne
13	F	63	Coiffeuse	mariée	2	Espagne
14	F	77	Retraité	mariée	2	Espagne
15	H	41	Masseur	marié	1	Espagne
16	F	80	Retraité	veuve	1	Espagne
17	H	72	Prêtre	célibataire	0	Espagne
18	F	46	Femme de ménage	mariée	3	Roumaine
19	H	33	Ouvrier construction	célibataire	0	Equateur
20	H	51	Artiste musique	marié	2	Espagne

Tableau 1. Caractéristiques principales de l'échantillon enquêté.

Afin de collecter les données de mobilité en période de crise, nous avons utilisé une grille d'entretien et une carte de la ville de Lorca. La grille avait comme objectif de connaître avec le plus de détails possible chaque vécu individuel suite au tremblement de terre. Cette histoire a été enregistrée avec l'aide d'un dictaphone, et en parallèle nous avons rempli la grille et la carte avec les lieux fréquentés et les déplacements effectués. Chaque discours est donc organisé chronologiquement et permet de connaître la localisation géographique des individus à tout moment.

Pour collecter et organiser cette grande quantité de données à partir des discours, nous avons adapté une grille d'entretien (Figure 9) créée pour l'analyse des comportements de mobilité en période de crues rapides (Ruin et al. 2013). Cette grille permet de travailler avec des horaires précis (« je me souviens qu'à 20H14 j'ai appelé mon fils ») ou à défaut des durées « je ne sais pas à quelle heure je suis arrivé mais normalement ce trajet je le fais en 15 minutes ». Souvent, les entretiens étaient plus des monologues des personnes interrogées que des échanges question/réponse. Dans plusieurs cas, il suffisait de demander d'expliquer avec le maximum de détails possible ce qu'ils avaient fait après la première secousse, si possible par ordre chronologique. Ensuite, s'il était nécessaire, les personnes interrogées étaient invitées à détailler certains moments précis ou à clarifier certaines incohérences dans l'enchaînement des événements.

En effet, avec cette méthode, il est facile de détecter des trous de mémoire ou des incohérences dans le temps, car le discours est organisé d'une manière très visuelle et chronologique. Les individus peuvent donc exprimer leur histoire avec un minimum de coupures de la part de l'interviewer et cela leur permet de revivre l'événement et de se rappeler d'un maximum de détails. Dans certains cas, les entretiens font revivre tellement les diverses situations de panique et de peur que les émotions déclenchées chez l'enquêté deviennent difficilement gérables.

La grille repose sur une échelle chronologique dans laquelle le temps est divisé en une succession de lieux et de déplacements que l'on peut visualiser sur la figure par la flèche pointillée (Figure 9). Pour chacun d'eux (lieux et déplacements), nous avons demandé plusieurs informations qualitatives, qui sont à tout moment liées à un espace et à une durée précise. On notera avec un petit éclair le lieu ou déplacement où l'individu se trouvait lorsqu'il a vécu le premier et le deuxième séisme. Dans la partie inférieure gauche, sont reportés les éléments de contrôle, comme le jour ou la durée de l'échange. La partie inférieure droite vise à évaluer la connaissance du niveau de connaissance des consignes de sécurité et si l'enquêté avait pu les appliquer.

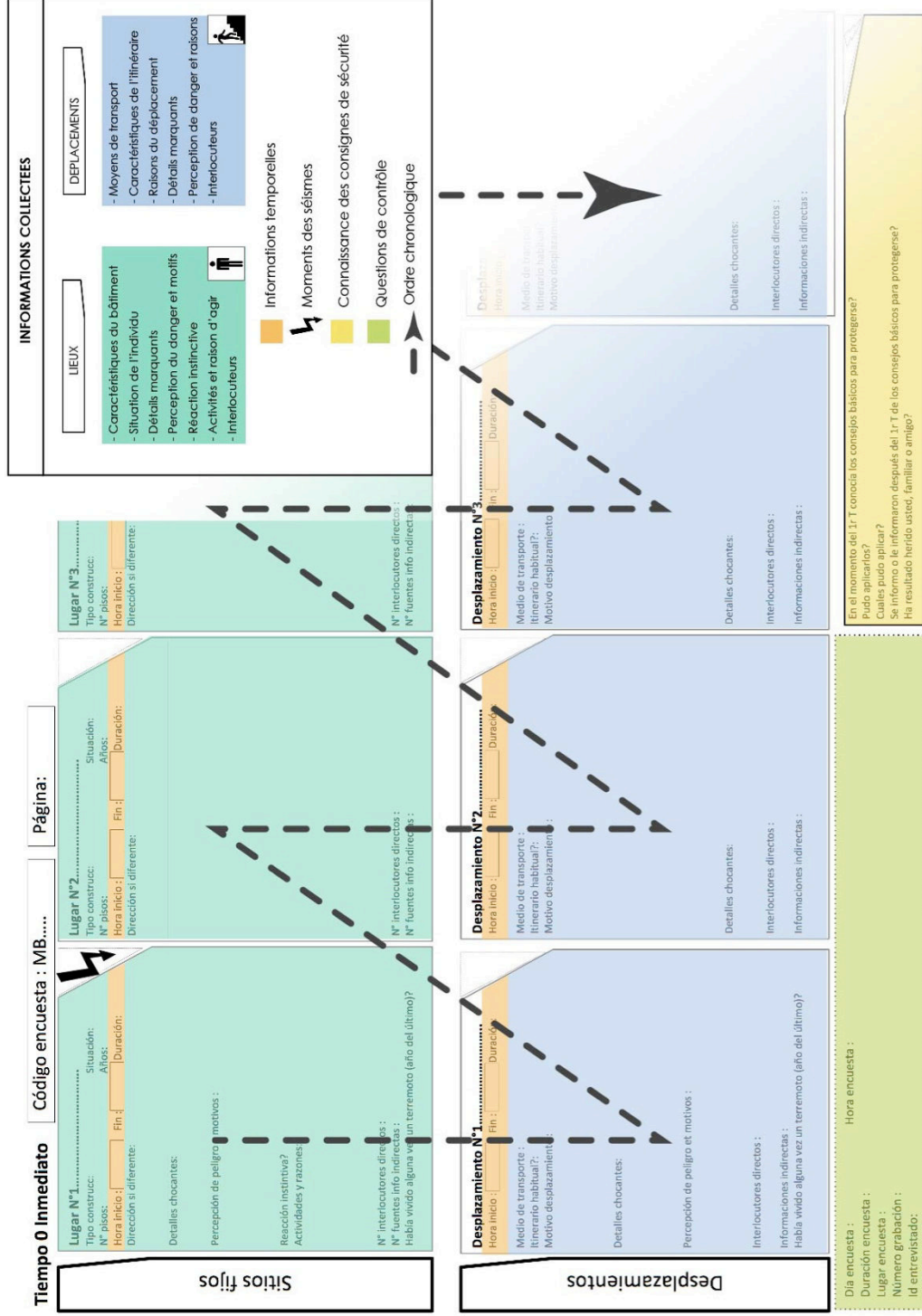


Figure 9. Grille d'entretien utilisé pour les entretiens à Lorca, adaptée de la grille de Ruin et al. 2003, employée lors des entretiens auprès de la population en période de crues rapides.

Le choix de travailler avec cette grille n'est pas le résultat d'une recherche bibliographique mais d'une expérience que j'ai pu réaliser au début de la thèse. A la fin de 2011 dans le cadre d'une campagne de terrain, j'ai eu l'opportunité de réaliser plusieurs entretiens avec cette grille auprès de personnes affectées par des crues rapides dans le sud-est de la France dans le département du Var. J'ai pu me familiariser avec le fonctionnement de la grille que j'ai par la suite traduite et adaptée pour le cas du séisme de Lorca.

Etant donné des différences inhérentes à la dynamique de chaque phénomène (séisme et crues rapides), avant de partir sur le terrain, j'ai réalisé 7 entretiens test. Pour cela, j'ai choisi des hispanophones habitant à Grenoble et une fiche a été créée avec toutes les caractéristiques importantes du séisme de Lorca (Annexe 1). L'idée était que chaque interviewé devait considérer l'exercice comme un jeu de rôle et ils devaient inventer une histoire la plus détaillée possible et la plus proche de la réalité de Lorca. Cela m'a permis notamment de me rendre compte des différences spatiotemporelles des crues rapides et des séismes. Les enquêtes sur les crues rapides que j'ai pu réaliser portaient sur quelques jours car le phénomène s'étale dans le temps, alors que dans le cas de Lorca, la période de crise a duré moins d'un jour. De plus, j'ai pu constater que l'absence d'alerte provoque une réelle surprise, qui se traduisait par des « mini-trajets ». Ces déplacements courts nécessitent une collecte de données très fine. J'ai donc décidé de travailler à l'échelle de la minute. Dans la sous-section (4.3.3 La division du temps en trois périodes p 73) nous détaillons les raisons du choix de ce pas de temps à la minute. Les entretiens fictifs ont rarement dépassé 20 minutes alors que les entretiens réels ont duré entre 1 heure et 3 heures. La réalité se révèle extrêmement plus riche que l'imagination.

Les informations collectées concernant les lieux et les déplacements sont détaillées ci-dessous.

4.1.1 Les lieux

Dans le cadre de l'application de la grille d'entretien, on définit un lieu comme un endroit plus ou moins grand dans lequel l'individu reste stationné pour un temps défini. Ce lieu peut être situé à l'intérieur d'un bâtiment ou à l'extérieur. Une fois recueillies l'adresse exacte, l'heure d'arrivée, ainsi que l'heure de départ, j'ai par la suite demandé les précisions suivantes :

Caractéristiques du bâtiment : dans le cas où la personne se trouvait dans un bâtiment, j'ai recueilli le nombre d'étages, l'année de construction du bâtiment et l'étage où se trouvait l'individu.

Activités réalisées : pourquoi il/elle était à cet endroit, pour réaliser quelles activités ?

Accompagnants : il s'agissait de déterminer si la personne était seule ou accompagnée par des amis, de la famille, des collègues, etc. Il était important aussi d'avoir une idée du nombre d'individus qui l'entouraient pour observer si ses décisions lui étaient propres ou si elles étaient dues à un comportement collectif. Certains individus peuvent dire se trouver seuls car non accompagnés de personnes familières tout en étant dans un lieu très fréquenté. Enfin, j'ai aussi différencié les interlocuteurs directs ou indirects : les interlocuteurs directs sont ceux qui se trouvent avec la personne enquêtée tandis que les indirects sont ceux contactés par téléphone par exemple.

Détails marquants : ce qui a le plus marqué les individus à ce moment, comme par exemple la présence des victimes, des services de sécurité, ou une multitude des personnes.

Perception du danger et motifs : pendant qu'il/elle était dans cet endroit précis, l'idée est de savoir si la personne avait eu peur et pour quelles raisons ? Quels étaient les dangers qu'il/elle percevait ?

4.1.2 Les déplacements

Pour aller d'un lieu vers un autre, l'individu doit forcément réaliser un déplacement. Les horaires sont définis par l'heure de départ du lieu précédent et l'heure d'arrivée au lieu suivant. Pour les déplacements, les éléments suivants sont collectés :

Moyen de transport : l'individu s'est-il déplacé à pied, en voiture, en moto en vélo en ambulance...

Caractéristiques de l'itinéraire : est-ce que l'itinéraire choisi était celui normalement emprunté, ou a-t-il été modifié soit par obligation (route barrée) ou par souhait (pour aller voir l'état d'un bâtiment par exemple) ?

Raisons du déplacement : les raisons précises du déplacement. Un individu a pu se déplacer pour aller vers un lieu en particulier ou pour s'éloigner du lieu d'origine.

Il était également intéressant de connaître ce qui avait marqué les enquêtés pendant le trajet, la perception du danger ainsi que des informations concernant les interlocuteurs directs ou indirects. Il était enfin indispensable non seulement de connaître le nombre et la nature des déplacements mais aussi les itinéraires suivis. Les raisons principales résident dans le fait qu'avec l'aide d'une carte, les individus arrivent à revivre plus facilement la période de crise et peuvent être plus précis avec les horaires. Enfin, cela va nous permettre d'analyser l'exposition humaine (coïncidence spatiale entre danger et individu).

4.1.3 La carte des itinéraires

En même temps que nous avons complété la grille avec la personne, nous avons dessiné conjointement les itinéraires ainsi que les lieux sur une carte (Figure 10). Etant donnée la forte concentration de dégâts à l'intérieur du centre-ville, nous n'avons pas collecté les itinéraires hors des limites de la ville de Lorca. Dès que les individus sont sortis de la ville, l'exposition revient pratiquement au même niveau qu'avant la secousse. Le fond de carte utilisé a été soigneusement sélectionné. Nous avons utilisé la carte de l'annuaire des commerçants de Lorca car la plupart des individus y étaient déjà familiarisés et les repères pour eux sont facilement localisés. De plus cette carte possède un niveau de détails complètement adapté à notre propos car elle intègre toutes les rues de Lorca.

On observe comment l'individu se trouve au lieu L1, au commissariat en train de refaire sa pièce d'identité lors du premier séisme. (Figure 10). Ensuite, il se déplace (D1) vers son commerce, un salon de coiffure (L2). Puis, au moment de la deuxième secousse, il se précipite pour sortir de son commerce (D2) et reçoit une corniche qui lui tombe sur la tête, juste à la porte du salon de coiffure (L3). Il ne peut pas bouger et reste sur place en attendant l'ambulance qui arrive et l'amène (D4) premièrement à l'hôpital de Lorca (L4), qui est en train d'être évacué, et enfin, étant donné la gravité des blessures, il est transféré à l'hôpital de Murcia (D5 et L5) à une centaine de kilomètres de Lorca.

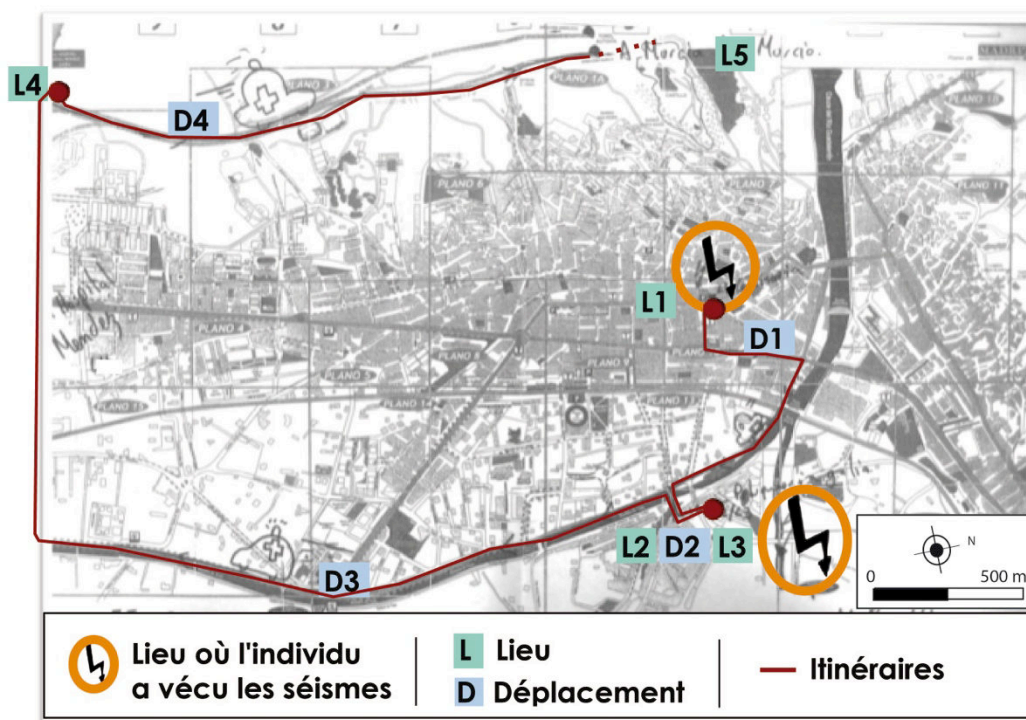


Figure 10. Exemple de la carte des itinéraires réalisée pendant l'une des enquêtes. Fond de carte : annuaire des commerçants.

Il est nécessaire de signaler que cette grille et la carte associée présentent quelques limites inhérentes à la nature humaine.

4.1.4 Limites méthodologiques

Décrire la réalité spatiotemporelle d'un individu présente dans certains cas des problèmes qui constituent un frein à une collecte de données exhaustives. Nous exposons ici quelques difficultés rencontrées au moment de la collecte des données et qui correspondent à autant de possibilités d'améliorations pour la transposition de cette méthode à d'autres cas d'études. Il est évident que cela sera nécessaire seulement si ces problèmes ont un impact sur l'interprétation finale. Dans notre cas, nous allons voir par la suite que cette altération est minimale.

Le premier problème pourrait être appelé *l'effet déambulation*. Même si dans la plupart des cas les personnes interrogées vont effectivement d'un point A à un point B, et qu'ils connaissent à l'avance le point B, parfois le choix de B est déterminé par l'ensemble du trajet AB. Autrement dit, dans certains cas, les personnes n'ont pas l'intention d'aller à un endroit précis mais d'aller faire une reconnaissance. Dans la période entre les secousses, deux des individus enquêtés sont sortis de leurs habitations et ont été voir aux alentours l'étendue des dégâts. Dans ces cas de figure, les arrêts sont fréquents et les décisions sont prises en fonction des stimuli de l'environnement. Les dégâts observés mais aussi les personnes rencontrées, la connaissance au préalable du quartier ou de la ville ainsi que les possibles obligations postérieures aux secousses constituent autant de facteurs importants de déplacements. Dans ces deux cas, nous avons pu compiler les données des déplacements mais par contre la durée du trajet est tout simplement la différence entre l'heure de début et l'heure de fin du trajet. Nous allons donc cumuler une erreur du fait que la vitesse pendant un trajet/déambulation peut-être variable. Ce fut le cas pour l'un des entretiens. La moitié du déplacement a été très tranquille, à une vitesse plutôt lente. Cependant, quand la personne enquêtée et son mari (accompagnant) ont vu des dégâts « importants », et inquiétés par les rumeurs d'un autre séisme imminent, ils ont changé leur destination afin de retourner dans leur maison mais cette fois beaucoup plus rapidement. Dans ce cas, le trajet est considéré comme unique, mais dans la réalité des micro-arrêts ont altéré ce trajet et l'ont modifié du début à la fin. Dans cet exemple, nous avons considéré l'ensemble du trajet en intégrant toutes les interactions avec les personnes qu'ils rencontrent pendant celui-ci.

De même, si nous avons considéré de petits arrêts, nous aurions probablement eu des mini-trajets, souvent inférieurs à la minute. On peut donc s'interroger sur le sens même du déplacement : est-ce simplement aller de A à B ? Mais si, en allant de A à B, la personne s'arrête à A', doit-on considérer deux déplacements ? Si elle s'arrête pendant un temps long, il est plus facile de trancher mais plus l'arrêt est court plus l'ambiguïté est grande. De la même manière, il arrive que les trajets soient

extrêmement courts, ce qui ne modifiera pas l'exposition mais toutes les décisions que l'individu va prendre par la suite, donc aussi indirectement son exposition. Prenons l'exemple, extrait de notre échantillon, d'une personne habitant dans un bâtiment. Sa mère habite au même étage mais dans un autre appartement. Celle-ci est malade et ne peut sortir par ses propres moyens. Après le deuxième séisme, les trajets d'un logement à l'autre sont presque constants. La distance des trajets est de quelques mètres et l'exposition ne varie pas d'un lieu à l'autre. Cependant, plus le temps dans le bâtiment est prolongé, plus la personne va cumuler de l'exposition. Etant donné que notre travail vise à comprendre quels facteurs vont augmenter l'exposition, il est essentiel de conserver l'information sur la répétition de ces trajets, afin de pouvoir expliquer pour quelle raison la personne n'a pas quitté le bâtiment immédiatement après la secousse.

Un autre exemple est celui d'une personne en charge de plusieurs bâtiments, autour de la même place. Après le séisme cette personne est allée regarder chaque bâtiment l'un après l'autre afin d'aider à l'évacuation de personnes à mobilité réduite ou de personnes qui ne voulaient pas quitter leur logement ou qui ne le pouvaient pas car leur porte était bloquée (cas très fréquent). Dans ce cas, la personne enquêtée a passé 2 heures à réaliser cette tâche en sortant d'un bâtiment, ensuite en rentrant dans un autre. Dans ce cas, son exposition humaine pendant ces deux heures était variable mais il est impossible de représenter spatialement sur une carte puis de digitaliser ces déplacements. Premièrement, la personne ne se rappelait plus des horaires précis et du temps passé dans chaque bâtiment et à l'extérieur. De plus, les distances verticales (bâtiments de plus de 6 étages, sans utiliser l'ascenseur) sont très importantes mais ne sont pas transposables en 2 dimensions. Pour ce cas précis, nous avons donc demandé dans quel endroit la personne avait passé le plus de temps et nous l'avons « immobilisée » pendant ces deux heures, même si dans la réalité elle ne s'est pas arrêtée. Une autre personne a également déambulé pendant une heure dans un quartier pour aider toute personne qui en avait besoin. Incapable de nous donner tous les itinéraires, nous l'avons aussi « immobilisée » au centre de la zone dans laquelle elle s'est déplacée.

Ainsi, considérer une personne de mobile ou non-mobile n'est donc qu'une question d'échelle. Nos choix doivent donc modifier cette échelle d'observation de la manière la plus cohérente possible. Dans notre cas, les enquêtés pour lesquels il a été difficile de trancher ont été rares. Ils représentent quelques heures du total des entretiens, mais en fonction de l'analyse à faire par la suite. Il est néanmoins nécessaire de prendre en compte cette limite.

Pour finir, un autre problème qui dans ce cas a une conséquence importante sur l'exposition est que les *déplacements se font en milieu urbain dense*. En effet, se déplacer dans une voie publique de 4 mètres de large, entourée de grands bâtiments ou dans une avenue de 23 mètres de large, ne signifie pas la même chose en termes d'exposition. Cet aspect avait été déjà mis en avant dans la thèse de Céline Lutoff sur le système urbain niçois face à un séisme (Lutoff 2000). Ainsi il n'est donc pas écarté de notre analyse et donc nous allons le traiter dans la partie (7.3.5 Largeur de la voie : facteur de

détermination des zones d'exposition ? p 186). Par la suite, nous détaillons d'autres données compilées lors des mêmes entretiens.

4.1.5 Mobilité résidentielle post-crise et adaptation à long terme

En termes de durée, dans la plupart des cas, lorsque cette partie de l'entretien est abordée, nous avons déjà dépassé la moitié du temps total de l'entretien. Suite à la première grille, qui se focalise sur le moment de la crise sismique, nous avons collecté des informations relatives à la période post-crise, qui commence à partir du 12 mai.

Premièrement, nous avons cherché à comprendre la mobilité résidentielle post-crise. En effet, la plupart des individus n'ont pas pu retourner chez eux directement après les séismes et ont dû patienter jusqu'à quelques jours après la secousse, voire parfois plusieurs mois (jusqu'à 9 mois après). Pour ces derniers, au moment des entretiens, ils n'avaient pas encore pu rentrer chez eux. Nous avons donc compilé la date du jour, le lieu où ils ont dormi, le type de lieu où ils résidaient (chez quelqu'un de la famille, un ami ou une résidence secondaire, par exemple), le nombre de personnes qui dormaient avec eux et finalement la raison pour laquelle ils sont allés là-bas. Toutes ces informations ont été recueillies à partir d'une grille différente de la grille précédente (Annexe 2).

Etant donné le grand nombre d'informations collectées rien que sur la période de crise, ces données sur l'après crise n'ont pas été traitées ici et feront l'objet de possibles travaux ultérieurs.

Après cette seconde partie de l'entretien, une dernière, plus ouverte, essayait de retracer le vécu du séisme avec une certaine prise de recul. Suite à l'analyse de la mobilité résidentielle, une série de questions ouvertes portaient donc sur la nouvelle situation (sous-entendu après le séisme), qu'il s'agisse de la situation familiale ou économique, du travail et de la santé. Le but ici était de détecter quels aspects avaient freiné ou favorisé l'adaptation personnelle et familiale à la nouvelle configuration de la vie de l'individu. Il était également intéressant de connaître quelles possibilités avait l'individu pour s'adapter à la nouvelle situation et pour quelles raisons il avait réalisé ses choix (aller vers une maison familiale ou chez des amis, par exemple). Même si nous n'avons pas traité directement ces données, elles nous ont aidé à avoir une vision plus globale de l'évènement. Elles nous ont permis de soulever d'autres problématiques, comme par exemple les difficultés bureaucratiques liées aux assurances ou les problèmes de confiance envers les spécialistes chargés d'évaluer l'état de leurs immeubles.

Parallèlement aux entretiens avec la population nous avons réalisé 6 entretiens complémentaires appelés « entretiens spéciaux ». De plus, des données que nous détaillons par la suite n'ont pas été créées par nos soins mais seulement collectées.

4.2 Entretiens avec les acteurs et données déjà existantes

Dans cette section, nous exposons les entretiens que nous avons réalisés avec les acteurs. Nous n'avons donc pas utilisée la grille présentée antérieurement, donc nous ne connaissons pas les lieux et trajets exacts des services. Nous avons procédé de cette manière étant donné que l'objectif était d'avoir une vision globale de l'évènement en s'appuyant sur son point vue et sur les compétences spécifiques mobilisées par chaque individu en fonction de son rôle dans la crise. Dans certains cas, nous avons utilisé la carte afin de localiser les lieux importants pour les personnes enquêtées, comme les campements de la Protection Civile ou les coupures de la voie publique par la police.

4.2.1 Les services de sécurité

Les entretiens avec les services de sécurité avaient pour objectif de comprendre au mieux comment ils se sont rendus sur le territoire, comment ils se sont organisés et quelles actions ont été réalisées. Ces informations ont beaucoup de valeur pour nous, car ce sont des éléments explicatifs de certains déplacements, réactions et choix de la population. Par exemple, lorsque les individus ont évacué la ville, ce n'était pas seulement un choix mais une obligation, car il était interdit de rester au centre de Lorca suite aux séismes. Les personnes interviewées ont été, le Responsable de la Protection Civile de Lorca. Nous avons aussi interviewé un responsable de la police, qui était d'astreinte pendant l'évènement du 11 mai, ainsi que le directeur technique des pompiers de Lorca. Comme nous avons pu le constater lors du chapitre antérieur, ces témoignages sont utiles car ils servent d'un côté à connaître de première main comment s'est déroulé l'évènement d'après un membre des services de sécurité, et d'un autre côté, à connaître son vécu de l'évènement et les lacunes qu'il a pu ressentir.

4.2.2 Autres entretiens spéciaux

Ce dernier groupe d'entretiens nous a permis d'obtenir des données cartographiques et démographiques ainsi que des données sur les changements de domicile suite aux séismes. Nous avons interviewé, le chef du service des statistiques de Lorca. Cette personne nous a fourni des données d'origine et destination des habitants de Lorca (par secteurs de recensement) pour les mois de juin, juillet, août et septembre 2011. Ces données sont extrêmement intéressantes car elles nous indiquent le nombre exact de personnes qui ont dû aller vivre à l'extérieur de Lorca. Afin d'avoir une place dans un autre établissement scolaire, ainsi que pour pouvoir justifier le paiement d'un

autre logement dans une autre ville et se faire rembourser par la suite, il était nécessaire de se faire recenser même pour une courte période.

En ce qui concerne les établissements scolaires, l'un d'entre eux, l'*Instituto Ros Giner* a été complètement démoli alors que l'école *Ramon Arcas Meca* a été partiellement reconstruite. Afin de pouvoir poursuivre leur scolarité, certains élèves se sont donc inscrits dans d'autres établissements à l'extérieur de Lorca car la solution proposée par la mairie de Lorca a été de suivre des cours dans les établissements intacts en horaires nocturnes. Ainsi, aller dans une autre commune a été un besoin constaté qui a forcé la population à actualiser leur recensement, ce qui a facilité la précision des données.

Nous avons aussi interviewé le co-créateur du projet ESLORCA⁴ et porteur du projet SGE 2.0 (outil de gestion de crise), que nous avons détaillé dans la partie (5.3.5 Une proposition de gestion naît de l'expérience de Lorca p 110). Enfin, nous avons interviewé la secrétaire générale de la *Confederación Comarcal de Organizaciones Empresariales de Lorca*⁵. Cette interview nous a permis d'obtenir des données sur l'impact du séisme sur l'activité des entreprises de Lorca et ses alentours. Elle nous a permis d'avoir des données sur le chômage induit par le séisme ainsi que les activités les plus favorisées par le tremblement, comme par exemple la maçonnerie.

Par la suite, nous exposons comment nous avons ordonné et traité l'ensemble des données avant de les analyser.

4.2.3 Données compilées déjà existantes

Nous exposons dans cette sous-section les données SIG utilisées. Plus précisément les données du cadastre que nous avons reclassées, les réseaux urbain et interurbain, les images PNOA

⁴ Projet visant à utiliser l'expérience du séisme de Lorca afin d'éduquer et sensibiliser la population sur le risque sismique (Martínez Moreno et al. 2012).

⁵ Traduction littérale : Confédération Commerciale des Organisations d'entreprises de Lorca (CECLOR). Cette confédération rassemble plus de 1000 entreprises de Lorca, représente et défend les intérêts de toutes les entreprises qui en sont membres.

Le cadastre et sa reclassification

Le cadastre est représenté sous forme de couches vectorielles en format SHP⁶ et nous a été fourni par la *Concejalía de Urbanismo de Lorca*⁷. Cette unique couche présente les limites des propriétés. Associé à chaque objet (polygone), nous avons des informations sur la parcelle : quand celle-ci a été construite, le nombre d'étages, les types d'usages (piste de tennis ou piscine par exemple). Ainsi, toutes les parcelles construites ou non construites d'une ville sont identifiées dans le cadastre. Afin de réaliser les analyses présentées dans le dernier chapitre, nous avons utilisé la description de la parcelle et le nombre d'étages de chaque parcelle. En effet, une des données attributaires contient une information sur l'utilisation du sol comme par exemple, « en construction » ou « friche » entre autres, qui nous indiquent l'absence d'étages. Quand les parcelles correspondent à des bâtiments, le nombre d'étages est indiqué. A une parcelle correspond un bâtiment.

A l'origine, cette base de données de 19.000 polygones présentait quelques problèmes de digitalisation du fait que cette couche a été créée avec un logiciel d'architecture (Autocad) et non un Système d'Information Géographique. Lors du transfert sous SIG, les polygones superposés, dupliqués ou représentés par des lignes étaient les erreurs les plus communes. Suite à un important travail de nettoyage, nous avons réussi à supprimer ces problèmes. Concernant l'actualisation de cette couche, même si elle date de septembre 2011, on constate que plusieurs mises à jour n'ont pas été réalisées. Dans certains cas, de nouvelles maisons construites dans les alentours de Lorca n'apparaissent pas sur le cadastre, alors qu'elles sont visibles sur les orthophotographies prises en 2007. Cependant, les zones les plus affectées par le séisme, autrement dit le centre-ville ou les quartiers de la Viña ou encore Sant Cristobal, correspondant à des quartiers anciens, sont généralement précisément représentés.

Afin de simplifier la manipulation de cette base de données, nous avons reclassé les données pour réduire le nombre de catégories d'utilisation du sol.

Comme nous l'expliquerons dans le (Chapitre 6) nous avons utilisé la hauteur des bâtiments pour le calcul de l'exposition humaine en période de crise sismique. Cette reclassification a supposé (Tableau 2):

⁶ Le « shapefile », ou fichier de formes, est un format de fichiers vectoriels . Il contient toute l'information liée à la géométrie des objets ponctuels, linéaux ou bien polygonaux ainsi que l'information attributaire décrivant ces objets. Il s'agit d'un format propriétaire de la société ESRI.

⁷ Traduction littérale : Conseillère d'Urbanisme de Lorca. Service de la mairie qui a comme objectif d'améliorer le développement des compétences urbanistiques que l'aménagement juridique de cette mairie (<http://www.urbanismo.lorca.es>).

- La suppression des données attributaires concernant les étages souterrains, comme les parkings ou les constructions souterraines.
- L'identification comme « espace ouvert » de tous les espaces sans toit qui, sur la couche originale, sont répartis en différentes catégories comme par exemple les escaliers, les rampes, les jardins, les parcs, les terrains de sport ou tout simplement des terrains abandonnés sans constructions.
- La différenciation des espaces avec une construction de plain-pied. C'est le cas des maisons à rez-de-chaussée ou des installations sportives couvertes.
- Le maintien de la catégorie « en construction » lorsqu'il était impossible de déterminer le nombre d'étages.
La conservation des catégories indiquant directement le nombre d'étages des constructions (I, II, III...).

Sur cette base, la reclassification a permis de passer de 78 à 16 catégories détaillées dans le tableau suivant (Tableau 2).

Liste des catégories originales ⁸	Description finale
+I (étage avec sous-sol)	Un étage
I (rez-de-chaussée + étage)	Un étage
-I+II	Deux étages
II...	Deux étages...
-I+III...	Trois étages...
XIII	Treize étages
EN CONSTRUCTION	En construction
-I	Ouvert
-II...	Ouvert
ESCALIER	Ouvert
JARDIN	Ouvert
PISCINE	Ouvert
TERRAIN DE TENNIS	Ouvert
TERRAIN DE SPORTS	Ouvert
FRICHE	Ouvert
RAMPE	Ouvert
TERRAIN DE FOOT	Ouvert
ABRI	Rez-de-chaussée
COUVERT	Rez-de-chaussée

Tableau 2. Reclassification des catégories du cadastre. Les catégories de la première colonne ont été reclassées, les nouvelles catégories sont indiquées dans la deuxième colonne du tableau. Les chiffres romains indiquent le nombre d'étages.

⁸ Afin de gagner de la place nous n'avons pas détaillé toutes les possibilités. Dans la couche nous trouvons des bâtiments jusqu'à 13 étages. Donc III, IV V et jusqu'à XIII va être traduit par « intérieur ».

La cartographie de base utilisée

Dans ce paragraphe, nous détaillons d'autres couches utilisées. Nous avons compilé des fonds de cartes disponibles sur le site de l'*Instituto Geografico Nacional (IGN)*. Ces données sont gratuites et téléchargeables directement sur le site. Dans tous les cas, ce sont des données géoréférencées en format raster ou image (Tableau 4 - 64):

Réseaux routier urbain et interurbain : ce fichier de lignes comprend toute la toponymie du réseau routier urbain de Lorca et ses alentours. Lors de la digitalisation des itinéraires issus de l'enquête, nous avons utilisé ces lignes comme référence (4.1.2 Les déplacements p 49).

Images PNOA : Orthophotographies aériennes prises à partir de vols PNOA⁹. Dans le cas précis de Lorca, elles datent de 2007 avec une résolution spatiale de 0,25 m. Nous les avons utilisées afin de digitaliser avec plus de précision les lieux et les itinéraires. En effet, il était fréquent de ne pas réussir à interpréter le terrain à partir du cadastre uniquement.

La cartographie post-sismique

La *Concejalía de Urbanismo de Lorca* nous a également fourni des données sur l'évaluation des dommages aux bâtiments après les séismes. Comme nous l'expliquerons plus en détail dans la partie (5.2.2 Les dégâts sur les bâtiments de Lorca p 84), les techniciens ont évalué tous les bâtiments de Lorca et les ont classés en trois couleurs selon la gravité des dégâts. Dans ce cas, les bâtiments classés en jaune, rouge et en ruine ont été représentés dans une couche vectorielle sous forme de points. La catégorie « en ruine » est spécifique pour les bâtiments qui dès les premières évaluations ont été classés comme irrécupérables ou irréparables, donc à démolir dans les plus brefs délais. L'utilisation de ces données sera décrite plus en détails dans la section (7.1.4 Localisation des bâtiments fragiles p 160)

⁹ Le principal objectif du Plan National de l'Orthophotographie Aérienne est l'obtention des orthophotographies numériques à haute résolution (25-50 cm) et des modèles numériques d'élévation de l'ensemble du territoire espagnol, avec une régularité de 2-3 ans. Il s'agit d'un projet de coopération financé et entre l'administration générale de l'État et les communautés autonomes (<http://www.ign.es/PNOA/>).

Documents sur internet

Enfin, un grand nombre de documents graphiques ont été utilisés. Lors des deux missions de terrain, nous avons réalisé 100 photographies et en avons récupéré 150 auprès d'une des personnes enquêtées qui les a prises immédiatement après la secousse. Nous avons également collecté un total d'environ 2 heures d'images vidéo que nous avons filmées lors de la première mission, 4 jours après le séisme. Enfin, principalement à partir du site internet YouTube, nous avons compilé un total de 2 GB de vidéos. Il s'agit au total de 30 vidéos parmi lesquelles deux durent 1 heure et les autres entre 2 et 10 minutes.

Nous pouvons classer toutes les images apparues en relation au séisme en 4 grandes catégories en fonction de l'auteur des images ou du montage :

- **Vidéos de surveillance** : des caméras de surveillance montrent le moment de la secousse en direct. Elles montrent principalement des étagères qui tombent dans les supermarchés et les personnes qui courent. Dans un magasin de motos et de vélos, on voit les motocyclettes tomber. Il en est de même dans un bar ou autour de la mairie.
- **Personnelles** : certains individus (minoritaires) filment tout ce qu'ils voient après la secousse. Généralement, ce n'est pas immédiatement après la secousse, mais étant donné la nervosité que l'on peut observer, nous imaginons le caractère récent de l'évènement. D'autres personnes filment aussi l'état de leur maison, les fissures dans les escaliers, parfois même quelques jours après le séisme. De la même manière on trouve dans cette catégorie beaucoup d'images des dégâts causés par le séisme. Beaucoup de vidéos sur les bâtiments religieux et les bâtiments écroulés, ainsi que des voitures écrasées, des fissures, des corniches en équilibre, etc. Enfin dans une autre catégorie apparaissent des hommages aux personnes affectées, souvent avec des musiques tristes, des images au ralenti et quelques mots pour les familles des personnes décédées. Les images utilisées ne sont donc pas originales mais correspondent à des compilations d'images trouvées sur internet.
- **Médias** : étant donné la gravité du premier séisme, quelques médias se trouvaient sur place lors de la deuxième secousse. Ainsi, ils ont pu filmer en direct le séisme. Dans deux cas, ils ont filmé la chute de la partie supérieure du clocher de deux églises différentes. Par la suite, beaucoup de vidéos montrent les campements ou les démolitions des bâtiments. Un grand nombre d'images ici montrent les opérations de sauvetage près de la maison écroulée ainsi que l'installation des campements pour les évacués. De même, la mise en place de renforts pour les bâtiments et la sécurisation des éléments ornementaux non écroulés, etc. Les campements sont aussi bien documentés avec beaucoup d'images nocturnes de la première nuit.

Enfin plusieurs documents nous montrent les scènes dramatiques des personnes décédées ou blessées.

- **A caractère scientifique :** Enfin nous avons toutes les photographies réalisées par les techniciens et les architectes, focalisées sur les dommages sur les structures. Nous allons trouver des photos des piliers détruits, des murs cassées etc. De la même manière un grand nombre d'images est produite pour montrer les différentes réparations réalisées, afin par exemple, de refaire les piliers.

4.3 Procédure de traitement des données

Afin de comprendre les analyses décrites dans la troisième partie, nous exposons ici les deux manières d'organiser les données et de les traiter. Chacune de ces deux grandes manières nous a donné la possibilité de réaliser des analyses spécifiques, avec des précisions spatiotemporelles différentes. Ces deux manières d'organiser les données constituent la base des deux chapitres suivants.

4.3.1 Digitalisation des lieux et des trajets : un objectif, l'analyse spatiale

A partir des 20 entretiens réalisés auprès de la population, nous avons procédé à la digitalisation des lieux parcourus et des trajets réalisés. Dans l'objectif d'organiser et de pouvoir traiter et comparer les informations issues des discours, nous avons créé plusieurs tables à l'aide du logiciel QGis¹⁰. Comme nous l'avons avancé auparavant, en raison d'une grande quantité de petits trajets, d'une durée inférieure à la minute, le pas de temps choisi a été la minute. Par la suite, nous détaillons les 4 différentes couches digitalisées, ainsi que la manière dont a été faite cette digitalisation ainsi que les contraintes que nous avons appliquées.

La digitalisation des couches a été faite dans l'ordre suivant : d'abord les lieux d'habitation de chaque individu, ensuite les lieux où ils ont vécu les deux séismes. Ensuite, nous avons digitalisé tous les lieux de passage et finalement les trajets. Procéder de cette manière a facilité la digitalisation des trajets en allant toujours d'un point A à un point B, préalablement digitalisés, ce qui a permis d'éviter ainsi certaines erreurs de digitalisation comme le croisement des trajets par exemple.

¹⁰ QGis est un logiciel SIG (système d'information géographique) libre.

Chaque couche est composée d'un ensemble d'éléments graphiques localisés sur la carte ainsi que d'une table attributaire décrivant chacun de ces éléments. Nous détaillons par la suite les couches et les informations associées.

Lieux du séisme et lieux d'habitation

Ces deux couches représentent sous forme de points les lieux de résidence de notre échantillon ainsi que l'endroit où ils ont vécu la première et la deuxième secousse. Dans la première table, nous avons attribué aux lieux d'habitation toutes les caractéristiques des individus enquêtés : âge, profession, nombre d'enfants à charge, statut de son logement (locataire ou propriétaire) etc. (Tableau 3).

Lieux fréquentés

Chaque fois qu'un individu était resté stationné un temps dans un endroit, nous avons digitalisé sa position dans la base de données. Cette couche est constituée de points. Nous attribuons au point des données temporelles en référence à l'arrivée et au départ de ce lieu, ainsi que l'adresse postale la plus exacte possible. Outre ces informations, étant donné que la principale source de danger pour la population provenait des bâtiments, nous avons créé un attribut «situation» avec 4 modalités possibles selon la localisation des individus par rapport à la source de danger : nous avons ainsi différencié lorsque les personnes se trouvaient à l'intérieur d'un bâtiment (intérieur), dans la rue à proximité des bâtiments (voie publique), dans un espace ouvert (espace ouvert) ou à l'extérieur de la ville (hors Lorca).

Dans le cas où l'individu se trouvait à l'intérieur d'un bâtiment, nous avons saisi l'étage où se situait la personne ainsi que le nombre d'étages de l'édifice et l'année de construction. Nous avons également enregistré l'ordre de passage au lieu afin de détecter les retours à la maison par exemple. Nous avons indiqué par ailleurs le nombre d'accompagnants directs (physiquement présents) et indirects (contactés par téléphone). Enfin, nous avons créé le « champ d'action » afin d'identifier les individus qui, au lieu d'être dans un lieu précis, tournaient ou gravitaient autour de celui-ci. Ce cas de figure a été décrit dans la sous-section (4.1.4 Limites méthodologiques p 51). Au total, cette table compte 138 lieux (Tableau 3).

Les trajets

Pour aller d'un endroit à un autre, les individus doivent réaliser un trajet ; dans ce cas la couche est constituée de lignes. Comme dans la table précédente, différentes informations ont été associées à chaque trajet. D'abord, des informations temporelles concernant le début et la fin du trajet et par la suite le mode de transport et l'accompagnement.

Comme pour la digitalisation des lieux, la couche des trajets comprend aussi un attribut « situation » avec les modalités « intérieur », « voie publique », « espace ouvert » ou « hors Lorca ». Nous rappelons qu'un déplacement peut avoir lieu intégralement à l'intérieur. Cependant, jamais il ne sera compris dans la même habitation, les micro trajets à l'intérieur d'un même lieu n'étant pas pris en compte dans l'analyse. Cependant on va indiquer si un individu va d'une habitation à une autre dans un même bâtiment. Enfin, nous déterminons s'il s'agit d'un trajet sur un itinéraire exact ou si la totalité ou une partie du trajet ne représente pas exactement l'itinéraire mais seulement l'origine et la destination. C'est le cas des trajets ayant pour destination des lieux situés à l'extérieur de la ville.

Comme nous pouvons l'imaginer, un trajet peut commencer à l'intérieur d'un bâtiment et finir à l'intérieur d'un autre bâtiment en passant par la voie publique. Pour cette raison entre autres, nous avons dû anticiper des contraintes méthodologiques afin d'harmoniser toutes les situations possibles lors de la digitalisation. Nous les détaillons par la suite.

Au total la base de données a été formée à partir des couches créées et des couches récoltées (Tableau 3).

Nom de la table	Déplacements		Lieux		Localisation Séisme		Individus	
	Lignes		Points		Points		Sans éléments graphiques	
Attributs	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu	Identifiant individu
	Identifiant du trajet	Identifiant lieu	Identifiant lieu	Localisation exposition	Localisation exposition	Localisation exposition	Sexe	Sexe
	Ordre trajet	Ordre lieu	Ordre lieu	Situation exposition	Situation exposition	Situation exposition	Age	Age
	Coordonnées X origine	Coordonnées X	Coordonnées X				Occupation	Occupation
	Coordonnées Y origine	Coordonnées Y	Coordonnées Y				Situation familiale	Situation familiale
	Coordonnées X destination	Jour arrivée	Jour arrivée				Nombre enfants à charge	Nombre enfants à charge
	Coordonnées Y destination	Jour départ	Jour départ				Relation logement	Relation logement
	Jour arrivée	Heure arrivée	Heure arrivée				Responsabilité officielle	Responsabilité officielle
	Jour départ	Heure départ	Heure départ				Résidence code postal	Résidence code postal
	Heure arrivée	Lieu exposition	Lieu exposition				Résidence quartier	Résidence quartier
	Heure départ	Activité normal	Activité normal				Résidence type de voie	Résidence type de voie
	Moyen de transport	Activité information	Activité information				Résidence adresse	Résidence adresse
	Accompagnants	Activité organisation	Activité organisation				Résidence numéro de l'adresse	Résidence numéro de l'adresse
	Distance du trajet	Activité protection	Activité protection				Résidence année construction	Résidence année construction
	Distance totale d'espacements	Activité évacuation	Activité évacuation				Résidence bâtiment ou maison	Résidence bâtiment ou maison
	Localisation exposition	Accompagnants	Accompagnants				Etage où se trouve la résidence	Etage où se trouve la résidence
	Déplacement pendant séisme (1/2)	Ville	Ville				Résidence nombre d'étages	Résidence nombre d'étages
		Hameaux	Hameaux				Nombre de lieux total	Nombre de lieux total
		Type de voie	Type de voie				Nombre de déplacements total	Nombre de déplacements total
		Adresse	Adresse				Exhaustivité	Exhaustivité
		Numéro de l'adresse	Numéro de l'adresse				Nationalité	Nationalité
		Type de construction	Type de construction				Cohabitant	Cohabitant
		Etage situation	Etage situation				Enfants à charge	Enfants à charge
	Nombre d'étages	Nombre d'étages						
	Année construction	Année construction						
	Lieux séisme (1/2)	Lieux séisme (1/2)						
	Déambulation	Déambulation						

Tableau 3. Tableau résumé des tables créées qui font partie de notre base des données, issues des entretiens.

Nom de la table	Inspection Bâtiments	Cadastre	Réseaux routier	Numéro de porte	Hameaux de Murcia
Eléments graphiques	Points	Polygones	lignes	Points	Polygones
	Couleur bâtiment	Type de sol	Nom voie	Numéro de porte	Nom hameaux
Attributs			Type voie	Nom voie	Code Postal

Tableau 4. Synthèse des tables collectées auprès du service d'urbanisme de Lorca, et qui sont intégrées dans notre base de données.

Consignes méthodologiques lors de la digitalisation

Afin d'harmoniser la digitalisation des informations, nous avons défini les consignes suivantes.

Tous passent au même endroit : tous les individus qui passent sur la même route, la même place ou le même espace ouvert passent exactement par le même endroit. Ainsi, quand nous allons regarder la carte, on ne va pas pouvoir distinguer si plusieurs individus empruntent un même itinéraire. Comme nous pouvons l'observer sur la figure suivante, les déplacements (en rouge) se chevauchent les uns sur les autres tout en passant exactement sur les lignes de la couche du réseau routier (en bleu) (Figure 11). Cela nous offre une grande homogénéité et de l'ordre dans les données, ce qui va nous aider lors des analyses comparatives. Bien entendu, si le besoin s'en fait sentir, nous sommes capables de distinguer les différents itinéraires en changeant le couleur pour chaque individu.

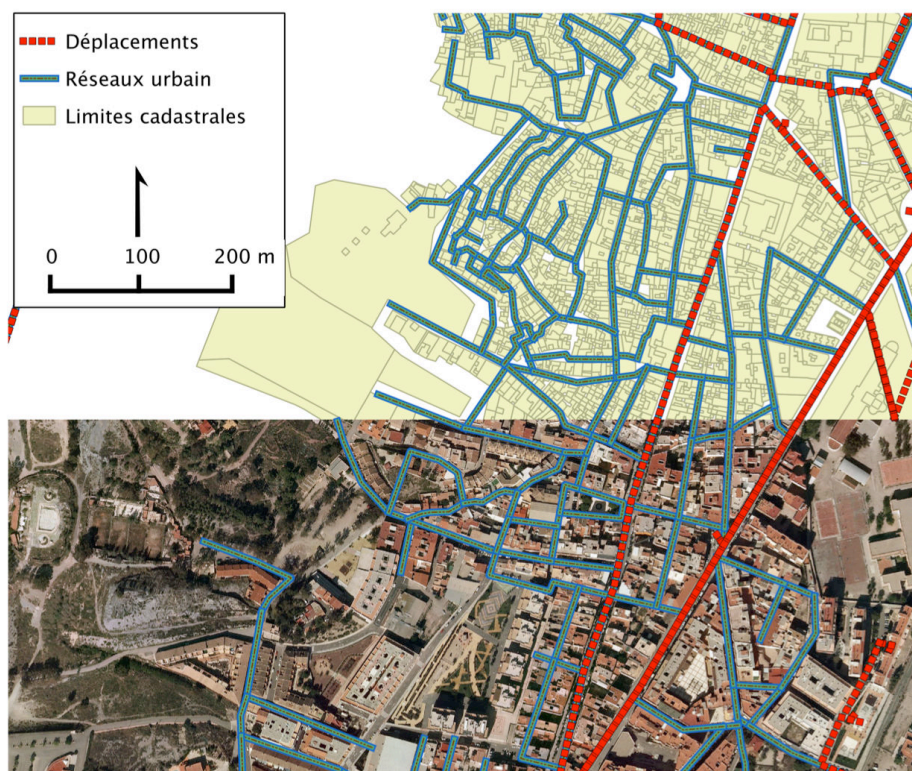


Figure 11. Zoom sur une partie de la ville de Lorca pour montrer la superposition des déplacements sur le réseau routier. Nous avons souhaité montrer la moitié de l'image avec le fond cadastral et l'autre moitié avec les images PNOA. Cela aide à se faire une idée du contexte de la ville. Fond de carte : Images PNOA del Instituto Geografico Nacional et cadastre cédé par le Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion de Lorca.

Précision temporelle : comme nous l'avons déjà évoqué au début de cette sous-section, les informations sur les horaires provenant des enquêtes sont à l'échelle temporelle de la minute. Nous sommes conscients que cette décision induit des biais associés à la précision de la mémoire de l'individu en état de panique. Cependant, nous avons choisi d'assumer ce risque, étant donné le grand nombre de trajets très courts, de l'ordre de la minute.

Si nous avons décidé de travailler avec un pas de temps de l'ordre de 5 minutes, nous aurions perdu beaucoup de précisions et il aurait fallu sur-dimensionner la durée des trajets très courts. Par exemple, un trajet d'une minute qui consiste à sortir de la maison aurait duré 5 minutes et ceci aurait créé un biais important. Imaginons qu'un individu sorte de chez lui en une minute, et dans la minute suivante va à une place en face de chez lui. Il passe une minute à l'intérieur du bâtiment et une minute sur la voie publique (entre les bâtiments fragiles) ensuite il est loin des bâtiments donc non exposé. Avec une granularité de 5 minutes il serait considéré comme exposé 10 minutes, alors qu'en réalité il ne l'a été que 2. Une autre solution aurait été de supprimer les trajets très courts et conserver seulement les trajets de plus de 5 minutes, cependant cela supposait une grande perte d'information ainsi que des trajets interrompus et des sauts spatiotemporels. Nous pourrions alors trouver la situation suivante : un individu se trouvait à la maison et ensuite à l'extérieur sans avoir effectué aucun trajet car celui-ci était inférieur à 5 minutes.

L'heure précise des séismes : les deux séismes ont eu lieu à 17H05 et 18H47. Les conséquences des séismes vont pouvoir être observées à partir de la minute suivante. Même s'il est vrai que les séismes ne durent pas 1 minute, la discrétisation temporelle à l'échelle de la minute nous oblige à introduire ce biais temporel.

Sortir ou entrer : pour les trajets qui vont de l'intérieur d'un bâtiment vers l'extérieur, nous stipulons que le temps de sortie est d'une minute, quand l'individu se trouve plus haut que le rez-de-chaussée. Par exemple, si une personne qui habite au quatrième étage nous affirme qu'elle est sortie juste après la secousse, nous digitalisons de la manière suivante : à 18H47, pendant la secousse, elle se trouve à l'intérieur. A 18H48 elle est toujours à l'intérieur mais en train de descendre les escaliers. Le trajet dans le bâtiment est dessiné et va durer 60 secondes de 18H48 à 18H49. Enfin, elle est à l'extérieur à partir de 18H49. Afin de ne pas dupliquer des trajets, nous les séparons mais un code unique est attribué pour les deux trajets. De cette manière nous avons le même trajet composé de plusieurs tronçons et nous distinguons si certaines portions du trajet ont été effectuées à l'intérieur, sur la voie publique, ou hors Lorca.

L'évacuation : lors des entretiens, quand un individu a quitté la ville, nous enregistrons l'itinéraire dans la ville et puis traçons une ligne droite jusqu'au lieu de destination, mais nous ne digitalisons pas le trajet exact à l'extérieur de la ville. Pour ce trajet, nous avons l'horaire de début et de fin mais non le temps passé dans la ville et le temps à l'extérieur, car cela fait partie du même itinéraire. Afin de calculer le plus

précisément possible le temps passé dans la ville, nous avons procédé de la manière suivante. Imaginons qu'un individu nous affirme que son trajet d'évacuation va d'un espace ouvert (digitalisé sur la carte) jusqu'à la ville d'Aguillas, par exemple, à 36 kilomètres de Lorca. Selon lui, le trajet a duré 50 minutes car pour sortir de la ville il y avait un trafic dense. A l'aide de Google Maps, nous simulons l'itinéraire, le plus exactement possible afin de connaître le temps estimé, dans ce cas 32 minutes. Finalement, nous allons donc estimer que cette personne a mis 18 minutes pour sortir de la ville et ensuite 32 pour arriver à destination. De cette manière, nous partons de la base que la circulation est encombrée dans la ville et qu'il circule normalement dès qu'il sort de la ville.

De 3D à 2D : la troisième dimension inhérente aux individus situés à l'intérieur des bâtiments provoque des altérations spatio-temporelles. Autrement dit, quand nous localisons un individu, dans un bâtiment dans le SIG, même si on sait qu'il se trouve au quatrième étage on ne peut représenter la distance verticale car le SIG, dans notre cas, ne prend pas en compte la troisième dimension. Si dans un entretien l'individu nous affirme que son déplacement pour sortir de la maison a duré 2 minutes, sur la carte nous aurons un trajet de quelques mètres qui va durer 2 minutes. Cela va avoir des conséquences si on calculait les vitesses de déplacement.

Pour faciliter la représentation de ces données temporelles fines, nous avons eu recours à un outil développé pour l'analyse des mobilités quotidiennes : les actogrammes.

4.3.2 Outil d'analyse temporelle : les actogrammes

La création des couches SIG, bien que puissante pour des analyses spatiales, présente des limites pour les analyses temporelles. Par exemple, comment savoir où se trouvent tous les individus à un moment précis ? Comme nous l'avons déjà évoqué antérieurement, chaque lieu et déplacement est associé à un horaire de début et de fin mais il n'est pas possible de réaliser des zooms temporels sans devoir découper et/ou redessiner des couches.

Pour ces raisons, en parallèle à l'analyse SIG, nous avons également organisé les données sous forme d'actogrammes avec Excel. Les actogrammes sont une forme de représentation largement utilisée en médecine ou en biologie. Dans ces disciplines les variables étudiées sont très diverses. Par exemple, il sert à étudier les cycles d'activité des souris. Une grille représente dans l'axe X le temps et en Y la variable à analyser. Quand la souris court dans sa roulette le pas de temps est indiqué en noir. Les actogrammes sont également utilisés pour l'analyse des programmes d'activités des individus au quotidien (Thévenin, Chardonnel, et Cochev 2007). Chaque individu est représenté par une ligne. Ces lignes sont divisées par colonnes et chaque colonne symbolise un pas de

temps, à définir en fonction de l'objet de l'étude. Les cellules indiquent, par un code et/ou une couleur, le type d'activité réalisée par l'individu à chaque pas de temps.

En ce qui concerne la thématique des risques, plus précisément la mobilité en période de crise et non la mobilité quotidienne, d'autres expériences utilisant des actogrammes ont été réalisées (Ruin et al. 2013). Dans cet article, un actogramme représente un résumé de toutes les activités réalisées par une trentaine d'individus en période de crise hydrométéorologique de type crue rapide le 15 juin 2010, dans les alentours de Draguignan dans le Var en France (Figure 12).

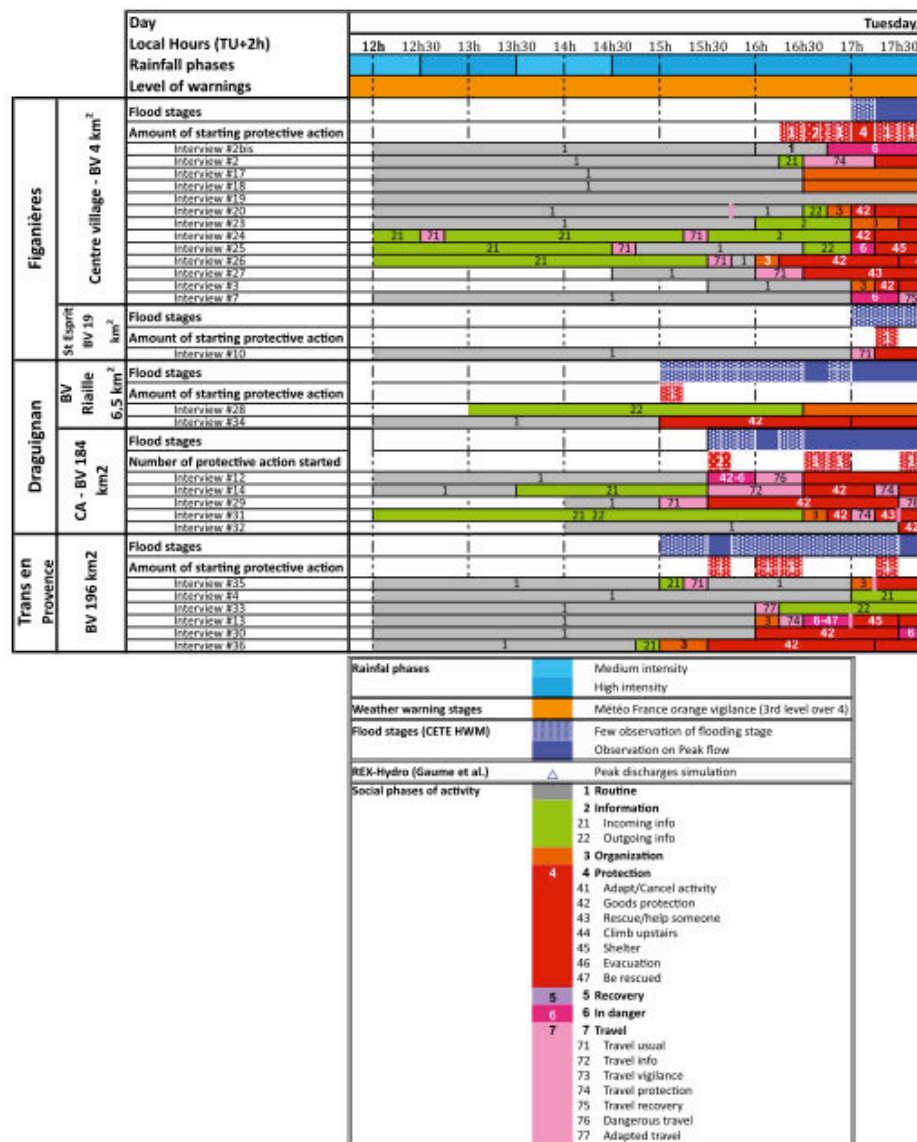


Figure 12. Actogramme qui montre les activités réalisées par des témoins (N=30), en période de crise hydrométéorologique extrême (crues rapides) dans le sud-est de la France, extrait de (Ruin et al. 2013). Chaque ligne correspond à un individu. A gauche est indiqué le bassin versant dans lequel l'activité est réalisée. Pour chaque ligne, on différencie les différentes activités qu'il a réalisées en fonction des couleurs.

Les actogrammes montrent donc une succession d'informations organisées à partir des informations temporelles relatives à un seul individu. En superposant toutes les informations décrivant l'ensemble des individus avec la même échelle temporelle, nous sommes capables de comparer la variabilité de cette variable dans le temps propre à chaque individu. On peut par exemple construire un actogramme représentant la mobilité et l'immobilité. Dans la figure suivante, le noir représente un moment pendant lequel un individu est en train de réaliser un trajet et en gris un moment pendant lequel il est statique (Figure 13). La période représentée est celle correspondant à la période de crise donc de 17H le 11 mai à 2H du matin le 12 mai.

En définitive, ce type de représentation nous permet de visualiser l'évolution temporelle d'une variable appliquée à tous les individus d'un échantillon. De plus, cette forme d'organisation des données permet de réaliser des lectures verticales (par colonne), pour connaître, dans ce cas, le nombre d'individus qui réalisent un trajet au même moment. En fait, en additionnant chaque colonne, nous obtenons le nombre d'individus en train de se déplacer à tout moment et ceux qui sont immobiles. Au final, nous obtenons une synthèse de l'évolution de la mobilité totale. Ainsi en faisant une lecture horizontale (par ligne) nous allons pouvoir additionner le nombre de minutes que chaque individu a dédié aux déplacements. En changeant la variable représentée, il est ainsi possible réaliser différentes lectures et analyses.

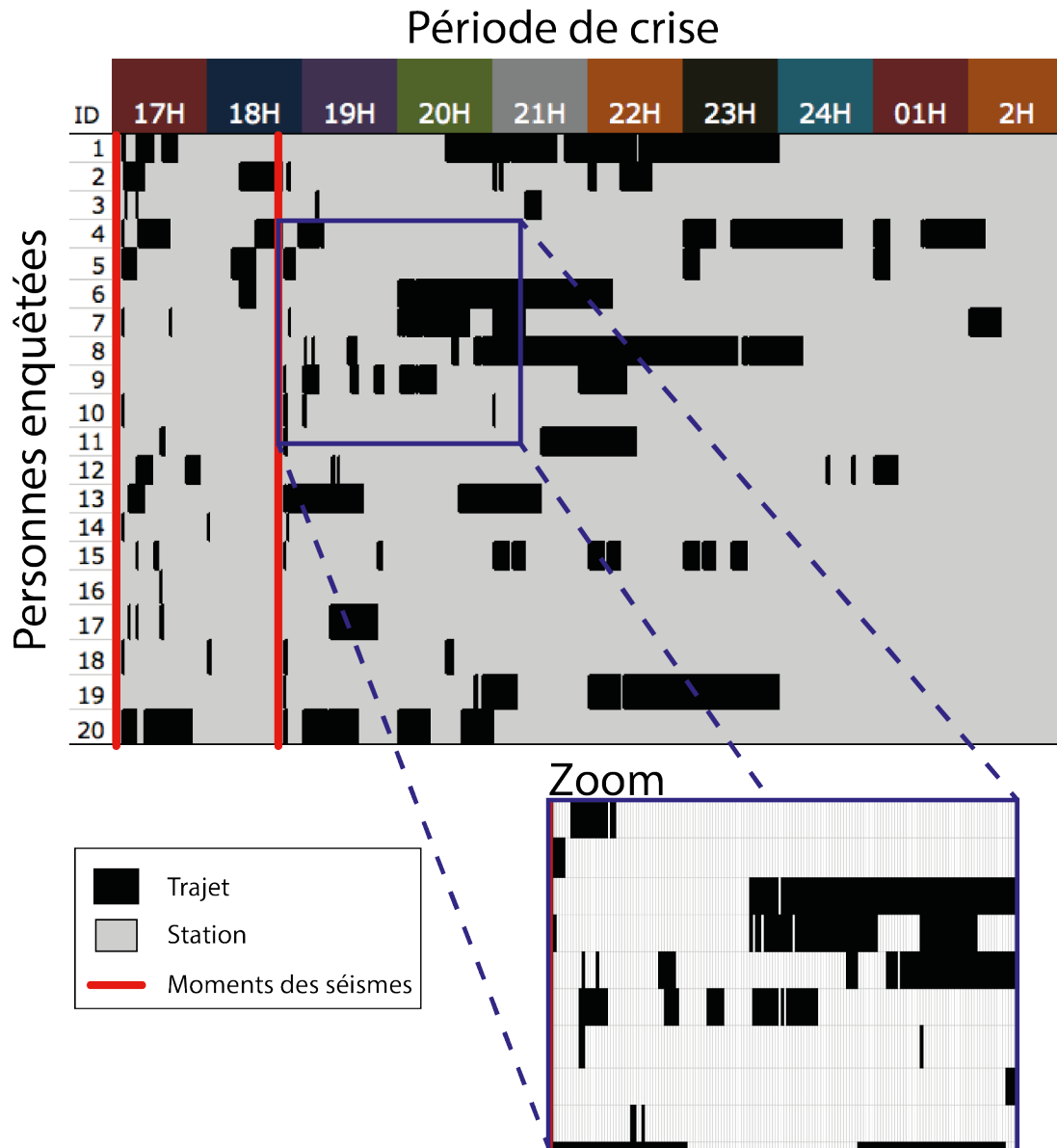


Figure 13. Exemple d'actogramme des 20 personnes enquêtées. Dans ce cas nous représentons la variabilité de la mobilité individuelle. Ainsi, nous pouvons voir pour chaque individu et à chaque moment s'il est en train de se déplacer (trajet) ou pas (station). Sur le zoom, nous pouvons apercevoir le pas de temps à la minute.

Nous présentons les actogrammes dans cette partie méthodologique étant donné que, pour notre étude, l'actogramme ne constitue pas un résultat en soi. Cependant, c'est un excellent moyen d'organiser les données de manière temporelle, nous permettant de réaliser un grand nombre d'analyses comme nous allons le présenter dans le chapitre suivant.

Nous avons créé 3 actogrammes, chacun d'entre eux représentant une variable différente : les types de lieux, les activités réalisées et les moyens de transport utilisés. Ils ont été créés à l'aide de la grille de base de l'actogramme précédent (Figure 13), et à partir des tables de codes (Tableau 5). Ces trois grands actogrammes nous ont servi par la suite à en créer d'autres plus simples, en recodant les codes originaux.

Pour illustrer cette méthode, nous présentons ici l'exemple de la création d'un actogramme qui nous a servi à analyser l'évolution de l'exposition des individus par rapport aux bâtiments (Tableau 5). Sans rentrer dans l'analyse des résultats, traitée dans la partie (6.3.2 - p 146), nous résumons comment il a été construit. Cet actogramme nous permet de connaître la position de chaque individu à chaque minute par rapport aux bâtiments. En utilisant le tableau de codage des lieux (Tableau 5), nous avons codé cette position en fonction des 4 catégories définies : à l'intérieur d'un bâtiment, sur la voie publique, dans un espace ouvert ou à l'extérieur de la ville. Il est intéressant de noter que même si cette analyse n'a pas été créée à partir d'un SIG, elle n'est pas seulement temporelle mais aussi spatiale. Comme nous pouvons le constater, elle n'intègre pas des lieux concrets et précis, mais des catégories d'espaces auxquelles sont associées des expositions humaines spécifiques.

		18H																																		
Code ID	Code_Entretien	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
1	MB 1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		
2	MB 2	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
3	MB 3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
4	MB 4	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
5	MB 5	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
6	MB 6	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
7	MB 7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
8	MB 8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
9	MB 9	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
10	MB 10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
11	MB 11	10	10	10	10	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
12	MB 12	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
13	MB 13	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
14	MB 14	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	MB 15	10	10	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
16	MB 16	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
17	MB 17	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20
18	MB 18	10	10	10	10	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
19	MB 19	10	10	10	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20	MB 20	10	10	10	10	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Interieur		11	11	11	7	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2		
Voie publique		6	6	6	10	13	9	9	8	8	8	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	6	7	8		
Espace ouvert		3	3	3	3	4	7	7	9	9	9	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	11	11	12	11	10		
Hors Lorca		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	

Figure 14. Impression d'écran d'une partie de la frise chronologique représentant les quatre catégories de lieux. Le rectangle rouge correspond au moment de la secousse principale (18H47). A gauche, en bleu clair, la colonne contient les identifiants des 20 individus enquêtés. La première ligne comprend les heures, la deuxième ligne les minutes. Dans la colonne correspondant à chaque minute, la localisation de chaque individu est indiquée suivant 4 catégories : intérieur (code 10), voie publique (code 20), espace ouvert (code 30), hors Lorca (code 40). En bas, la somme des individus pour chaque type de lieu.

Lieux	Code	Activité / trajet	Code	Station mode de déplacement	Code
Travail	1	Récupération	1	Trajet	0
Habitation	2	Information	2	Pied	1
Parents	3	Entrante	21	Voiture	2
Voisins ou amis	4	Sortante	22	Moto	3
Bâtiment public	5	Prise de nouvelles famille/amis	23	Vélo	4
Espace ouvert	6	Organisation	3	Ambulance	5
Rue (voie publique)	7	Protection	4	Station	6
Espace de protection civile ou hôpital	8	Application consignes sécurité	41		
Parking	9	Espace ouvert	42		
Commerce, médecin, bar, etc.	10	Campement	43		
Trajet	11	Secours / aide à qqn	44		
		Protection des biens	45		
		Être sauvé	47		
		Evacuation	6		
		Trajet (objectif, raison, caract.)	8		
		Trajet normal	81		
		Trajet information	82		
		Trajet ravitaillement/organisation	83		
		Trajet protection	84		
		Trajet d'adaptation	85		

Tableau 5. Codes utilisés pour les trois actogrammes sur les lieux, les activités et les modes de transport.

4.3.3 La division du temps en trois périodes

Dans cette dernière sous-section, nous exposons comment dans certain cas nous avons réalisé des analyses en découpant le temps en trois périodes. La durée totale de l'étude, depuis le premier séisme jusqu'à ce que le dernier individu stoppe ses déplacements, est de 10 heures (Figure 15). La première période correspond au laps de temps entre les deux secousses, donc à partir de la première secousse jusqu'à 1 minute avant le deuxième séisme. Cette première période dure 101 minutes et sera appelée Période Entre Secousses (PES) ou première période.

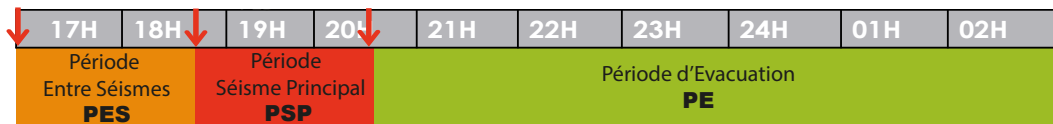


Figure 15. Frise chronologique divisée en trois périodes d'analyse. Les flèches rouges indiquent les moments des deux tremblements de terre. Nous avons indiqué aussi le moment d'une réplique de Mv 3,9 vers 20H30.

Afin de pouvoir comparer les conséquences du premier et du deuxième séisme sur la population, nous avons défini la deuxième période de la manière suivante. En prenant la durée de la première période, 101 minutes, nous avons déterminé que la deuxième période durerait exactement le même nombre de minutes mais en partant de la deuxième secousse (secousse comprise). Ainsi, dans cette période, nous avons les réactions immédiates provoquées par le séisme principal (qui correspond à la seconde secousse) ainsi qu'une durée équivalente à la première période. Cette période sera appelée Période du Séisme Principal (PSP) ou deuxième période. Enfin, le temps qui va rester correspond à la troisième période, également nommée Période d'Evacuation (PE), en raison de ce que font la plupart des individus pendant celle-ci. La durée maximale de cette période est de 391 minutes, elle est donc 4 fois plus longue que les deux autres périodes. Cependant, cette durée ne correspond qu'à l'individu qui s'est arrêté de se déplacer en dernier, la plupart des individus se sont arrêtés avant, soit en arrivant à l'endroit d'évacuation soit en restant dans la ville chez soi ou à l'extérieur ou dans un campement.

La méthodologie de collecte et d'analyse des données étant posée, nous proposons de revenir plus en détail sur l'événement que nous avons choisi comme cas école pour l'analyse de l'exposition humaine : le séisme de Lorca.

Chapitre 5 - Autopsie d'un événement

Dans ce chapitre nous apportons des éléments de compréhension de l'événement sismique de Lorca et du contexte sismique et culturel dans lequel il s'est déroulé. Ces éléments permettront de mieux appréhender les caractéristiques de ce séisme, ses conséquences sur la population, et la réaction des services de sécurité, notamment pendant la période de crise. Enfin nous analyserons les conséquences sur les bâtiments et les causes des nombreux dégâts.

5.1 Une région à sismicité modérée

Les grands tremblements de terre européens se produisent à la limite des grandes plaques tectoniques. Dans la région méditerranéenne, ils se produisent surtout à la confluence entre les plaques africaine et eurasienne (Capote et al. 2011).

L'Espagne n'est pas un pays de forte sismicité (défini par des séismes potentiels de magnitude supérieure à $M_v 7,0$), à l'exception de l'activité dans la zone de fracture des Açores-Gibraltar, qui fait partie de la section la plus occidentale de la conjonction entre les plaques eurasienne et africaine (Solares 2012). Cependant quelques zones ont une sismicité un peu plus marquée par rapport au reste du pays, tout en restant modérée. La zone des Pyrénées au nord-est et la zone de la Cordillera Bética au sud sont les endroits où se concentrent la plupart des séismes importants du pays. D'autres zones comme la dépression du Guadalquivir, ou le sud-ouest de la péninsule, ont également souffert des tremblements de terre marquants. Cependant les périodes de retour sont largement plus grandes que pour les séismes du nord et du sud-est (Figure 16). La carte suivante localise les séismes historiques (avant instrumentation en 1920), et ceux de la période post-instrumentale. On observe la grande concentration des

événements dans le sud et nord-est de la péninsule ibérique. Le reste du territoire n'est pas complètement épargné mais il est nettement moins touché.

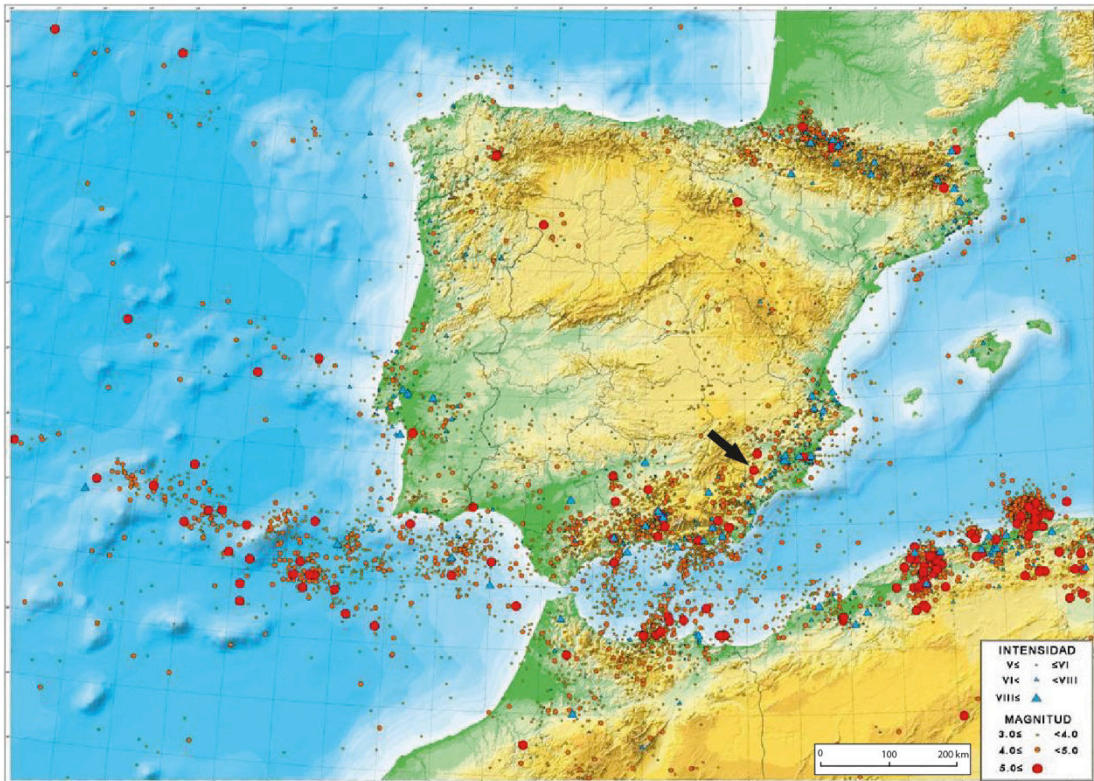


Figure 16. Carte des intensités et magnitudes des séismes depuis 1948 jusqu'à 2003. Les séismes historiques (entre les années 1048 et 1919) sont représentés avec des valeurs d'intensité tandis que ceux qui correspondent à la période instrumentale (1920-2003) sont représentés avec des valeurs de magnitude. La flèche indique la localisation de Lorca. Carte créée par l'*Instituto Geográfico Nacional* actualisée en 2003.

Un paramètre clef pour évaluer le risque sismique est l'accélération basique, ab , qui correspond à l'accélération maximale horizontale ou PGA (*Peak Ground Acceleration*) envisagée avec une période de retour de 500 ans. Afin d'adapter les réglementations parasismiques à la sismicité locale, ce paramètre forme un outil de gestion et de planification du territoire. En effet, sur la carte suivante (Figure 17) nous observons les zones dans lesquelles sont attendues les accélérations maximales de la péninsule ibérique. Ce type de cartographie est détaillé au niveau régional et constitue la base de la prévention face au risque sismique (Figure 19 - p 79)

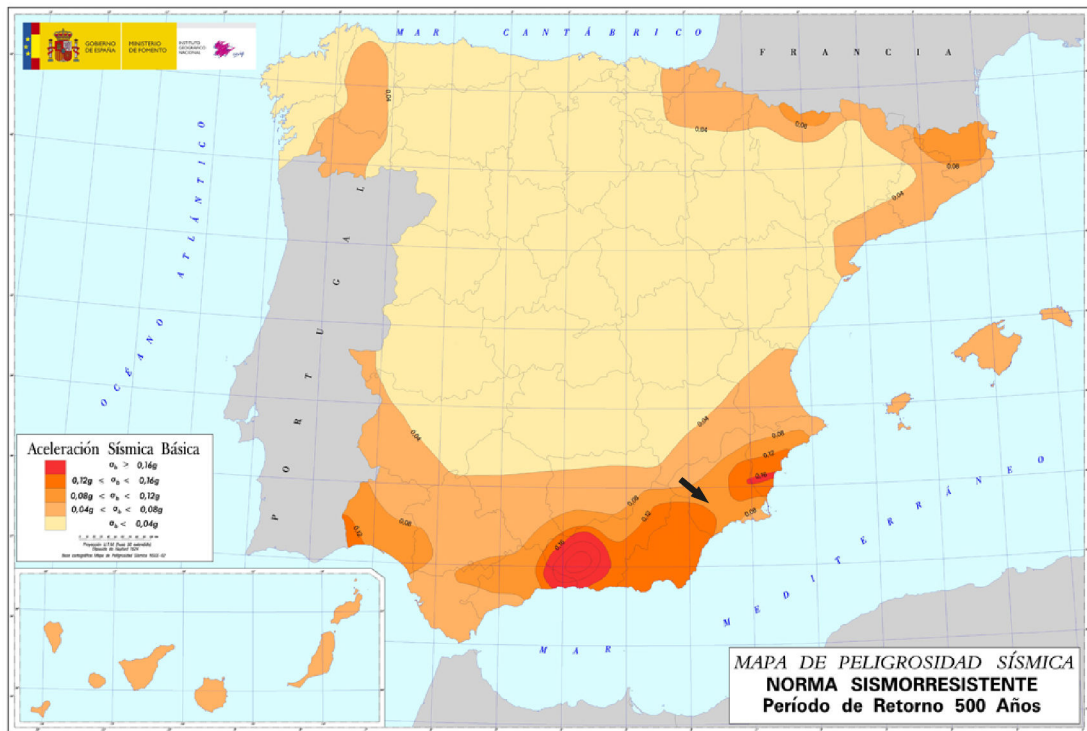


Figure 17. Zonage sismique de l'Espagne. Les valeurs d'accélération sont calculées pour une période de retour de 500 ans. La localisation d'une ville dans une zone d'accélération élevée suppose des mesures à suivre lors des nouvelles constructions, réhabilitations ou rénovations. La flèche indique la localisation de Lorca. Source : *Ministerio de Fomento*.

Les accélérations les plus élevées se concentrent dans le sud et le sud-est, où se situe la ville de Lorca.

5.1.1 Le risque sismique à Lorca est-il extraordinaire ?

Dans le contexte espagnol, la ville de Lorca se trouve dans une zone avec un risque sismique marqué, même s'il reste modéré par rapport à d'autres secteurs de la Méditerranée ou à d'autres régions du monde (Rodríguez et al. 2011). En raison de sa localisation le long du système des failles actives d'Alhama-Murcia (FAM sur la Figure 18) et en raison de la sismicité observée au long des années, cette zone est l'une des plus actives de la péninsule ibérique (Guevara 2011). Sur la figure suivante on observe les failles actives depuis 5 millions d'années. La localisation de certaines de ces failles a été

obtenue par des données paléosismiques qui ont permis d'identifier les paléoséismes¹¹ et même des tremblements de terre historiques de magnitude supérieur à Mv 6 qui ont eu lieu dans les derniers 5000 ans. D'autres failles comme celle de Crevillente (FC) et Bajo-Segura (FBS) ont montré des connections avec quelques-uns des événements les plus marquants, entre autres l'important tremblement de terre de Torrevieja d'intensité estimée à X en 1829.

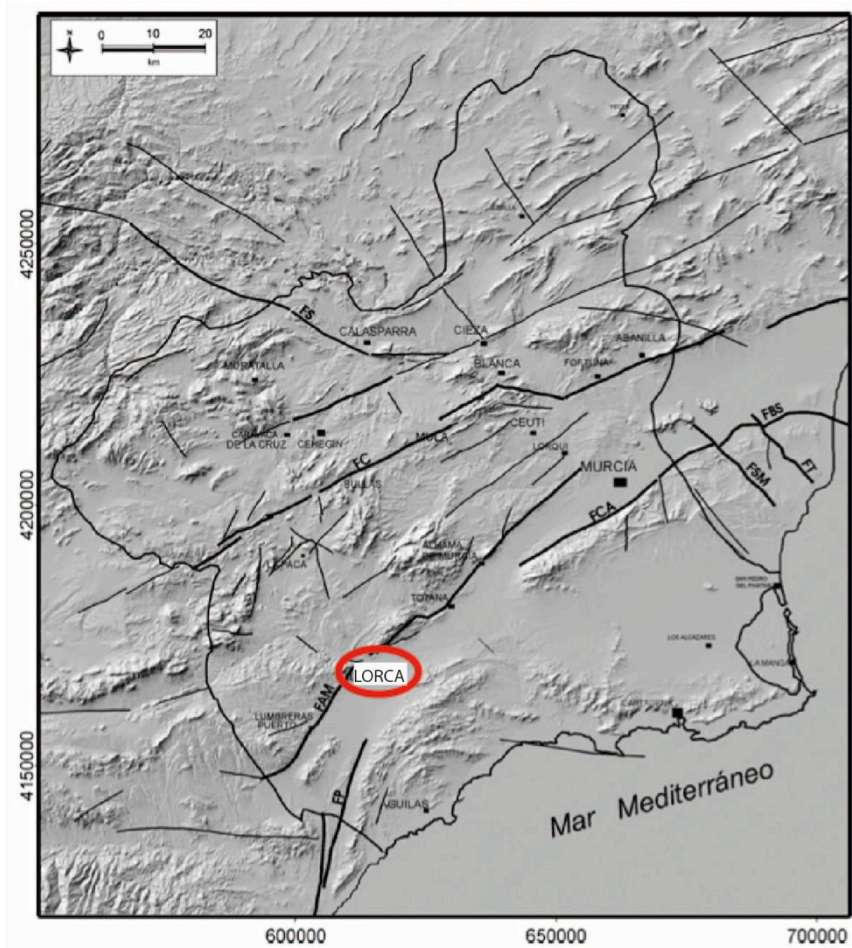


Figure 18. Carte des failles les plus importantes capables de créer des séismes de magnitude supérieure à Mv 5,5 et une activité post Miocène (il y a 5 millions d'années). Ces failles sont donc actives. Les plus longues sont représentées par un tracé plus épais. Définition des sigles utilisés sur la carte : FAM : Faille de Alhama de Murcia ; FS : Faille de Socovos-Calasparra ; FC : Faille de Crevillente ; FCA : Faille de Carrascoy ; FBS : Faille del Bajo Segura ; FP : Faille de Palomares ; FSM : Faille de San Miguel ; FT : Faille de Torrevieja. Extrait du Plan Spécial de Protection Civile face au risque sismique dans la région de Murcia (CARM 2006).

¹¹ Séismes qui ont eu lieu depuis 3 millions d'années, jusqu'à il y a 200.000 ans.

Il faut aussi rappeler les événements sismiques dans le sud-est de l'Espagne de la Mula en 1999, Bullas en 2002, Zarzilla y La Paca en 2005, de magnitudes similaires à celui de Lorca mais qui ont provoqué des dommages moindres (Oterino et al. 2012). Cependant l'ensemble des dégâts causés par ces événements correspond aux dommages les plus importants dus aux séismes en Espagne au cours des cinq dernières décennies (Oterino et al. 2012).

Les valeurs d'accélération attendues pour la région de Murcia, en sol dur (donc le moins amplificateur) pour une probabilité de 10% en 50 ans oscillent entre 0,004 g et 0,16 g, et sont de 0,12 g pour la ville de Lorca. Lors du séisme de 2011, des valeurs 3 fois plus élevées ont été observées soit 0,37 g (Oterino et al. 2012).

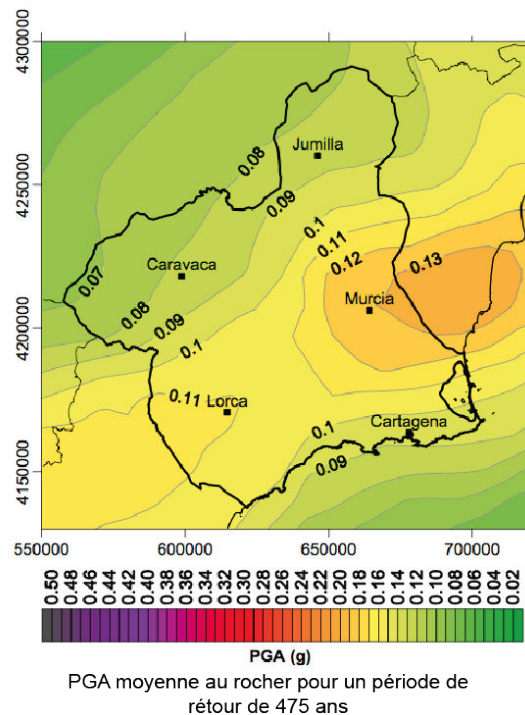


Figure 19. Carte de la dangerosité sismique en valeurs moyennes de PGA au rocher pour une probabilité de 10 % obtenue pendant le projet RISMUR¹² (*Riesgo sísmico de la Región de Murcia*) (Rodríguez et al. 2011).

Ainsi pour rebondir sur le titre de la présente sous-section nous pouvons affirmer que le risque sismique est donc marqué dans le contexte espagnol, modéré ou

¹² Projet commandé et financé par l'*Instituto Geográfico Nacional*, achevé en 2006, et ayant pour objectif l'évaluation des risques sismiques de la Région de Murcia, il est la base du Plan de gestion des urgences de la protection civile de la Communauté.

faible dans le contexte méditerranéen mais très faible si on le compare avec les pays situées à proximité de grandes zones de subduction, comme par exemple le Japon.

Connaissant l'aléa sismique de la région et de la ville ainsi que les principaux antécédents, quel est le rapport de la population face au risque ? Ont-ils une réelle conscience d'habiter dans une zone à risque ?

5.1.2 « *Amnésia sísmica* » Amnésie sismique.

Nous reprenons ici le titre d'un article apparu le 1^{er} juin 2012 au journal ABC (article complet dans (Annexe 3)). Ce séisme italien avait provoqué 27 victimes et des pertes économiques et patrimoniales élevées. La loi de construction parasismique italienne de 2004 n'avait pas pris en compte le caractère « *simogenético* »¹³ de la faille qui s'est réactivé, sachant que des documents historiques datent un séisme très important il y a 450 ans. En fait, la faille s'est-elle réactivée, ou son activité est-elle trop lente à échelle humaine ?

En Espagne en 1884, il y a 130 ans, il y a eu en Andalousie, donc aussi dans le sud de l'Espagne, un séisme d'intensité EMS 98 estimée à X qui a provoqué 1200 victimes. C'est pour cette raison que l'auteur fait le parallèle entre l'Italie avec l'Emilia et l'Espagne avec le séisme de Lorca. Depuis le séisme d'Andalousie, le nombre d'habitants en Espagne a triplé, passant de 16 millions, installés dans un contexte rural avec une mobilité très réduite, à 47 millions, la plupart résidant en ville et avec une grande mobilité. Les failles dites actives en Espagne sont intégrées dans les calculs pour la directive NCSE 02¹⁴ et celles considérées inactives ne le sont pas. Les premières concernent 2 618 localités, soit 20 millions de personnes, quant aux secondes, on n'en sait presque rien. Les failles inactives le seraient-elles pour toujours ou la mémoire sismique est-elle trop courte ? En termes géologiques, on sait bien que 500 ans est une courte période. Même si, dans le cas de Lorca, la faille était déjà connue comme une des plus actives, elle n'était pas considérée aussi dangereuse. L'article d'Arexavala conclut que les Espagnols ne sont pas conscients qu'ils habitent dans un pays sismique et qu'ils ne savent pas réagir face à des situations de crise sismique comme on a pu constater dans le cas de Lorca.

Pour continuer avec la conscience préalable de la population vis-à-vis des séismes, quatre mois après le séisme de Lorca, un groupe pluridisciplinaire a réalisé une enquête auprès de 627 habitants de Lorca qui ont vécu le séisme de mai 2011 (Alfaro et al. 2011). L'enquête avait pour objectif d'évaluer leur connaissance des séismes et des

¹³ Mot extrait de l'article. En français sismogène. Fait référence à la capacité d'une faille à se réactiver.

¹⁴ Réglementation parasismique en Espagne. Dans les pages suivantes nous allons y faire référence et la détailler (SISMORRESISTENTS, 2003).

normes parasismiques, leur perception de la gestion de catastrophes naturelles et l'information reçue en tant que population résidant dans un lieu à risques.

D'abord il faut souligner que le fait de réaliser l'enquête suite à la secousse présente des biais importants car la population a acquis un grand volume de connaissances, soit via les médias, soit à travers des techniciens ou architectes qui ont inspecté leurs maisons, soit via des liens familiaux ou des amis. Lors de nos propres entretiens (5 mois après l'enquête en question) nous avons également été surpris par le vocabulaire extrêmement riche des concepts techniques, non pas sur l'aléa sismique, mais pour ce qui concerne les dommages sur les bâtiments et les défaillances structurelles. Dans plusieurs cas, eux-mêmes se sont montrés surpris de leurs compétences.

En analysant l'enquête (Alfaro et al. 2011), et en tenant compte du biais méthodologique, nous pouvons en tirer quelques conclusions. En ce qui concerne l'aléa sismique, 70% de l'échantillon affirment connaître les raisons qui ont provoqué le séisme, 81% croient connaître les raisons de l'importance des dégâts, et finalement 73% savent que les répliques sont normales. Aucune de ces affirmations n'a été vérifiée par la suite ce qui veut dire qu'on ne sait pas s'ils ont effectivement une bonne connaissance de l'aléa sismique mais ils croient l'avoir acquise. A la question « avant le séisme, imaginiez-vous que Lorca pouvait subir un épisode sismique similaire », 54 % n'y croyaient pas, de plus 60 % ne savaient pas avant la secousse si leur maison était assurée contre les tremblements de terre. Cela nous amène à penser qu'avant le séisme plus de la moitié de l'échantillon ne voyait pas le risque sismique comme une menace réelle, pour cette raison ils ne s'étaient pas préoccupés de regarder leur assurance contre les séismes.

Les conclusions de cette enquête nous montrent aussi que la population estime que sa culture du risque sismique avant l'évènement ne leur a pas permis d'appliquer les consignes de sécurité avec des garanties. 77 % affirment qu'on aurait pu réduire le nombre de victimes et les dommages matériels si la population avait eu une plus grande connaissance sur les séismes. De plus, 91 % considèrent comme adéquat que dans les écoles et instituts s'organisent maintenant des exercices pour apprendre à faire face aux évènements sismiques. Cette question, ainsi que la réponse majoritaire, nous indiquent qu'auparavant il n'y avait pas de formations particulières de ce type au sein des établissements scolaires. A partir de 2011 et jusqu'à aujourd'hui, l'expérience de Lorca est reprise dans les écoles de la ville comme nous expliquons par la suite (Martínez Moreno et al. 2012).

En raison du manque de sensibilisation face au risque sismique, suite à l'expérience du séisme de Lorca, un groupe pluridisciplinaire a impulsé une initiative pour promouvoir l'éducation et la conscience sur le risque sismique, car plusieurs rapports ont souligné des comportements inappropriés au sein de la population pendant les secousses (Alfaro et al. 2011; Díaz 2012; Martínez 2012; Martínez Moreno et al. 2012; Santamaría, López, et Alguacil 2012).

« ... si la population avait su réagir, dans le cas du séisme de Lorca il aurait été possible de réduire les effets sur les personnes et même de réduire le nombre de victimes » (Martínez Moreno et al. 2012).

Ce projet (ESLORCA) propose un plan éducatif réaliste et applicable, qui a comme point de départ l'expérience collective et la focalisation sur les comportements dits à risque. Il a comme objectif de transmettre les compétences minimales nécessaires pour comprendre le phénomène et savoir comment agir de manière à réduire les comportements inadéquats. Il s'adresse à la fois à un public d'adultes et à des scolaires. Ce dernier groupe est particulièrement important à Lorca. A la différence de la population de la région de Murcia, la population de Lorca augmente notamment grâce à l'arrivée d'immigrants et la ville compte un grand nombre d'étudiants.

De plus, une des raisons qui peuvent expliquer l'inadéquation du niveau de conscience de la population peut être que la ville est également exposée au risque d'inondations. A Lorca, les inondations sont fréquentes, précédées d'alertes et les prévisions font partie du quotidien de la ville. L'année qui a suivi le séisme de Lorca, en septembre 2012, des inondations ont provoqué des dommages estimés à 90 millions d'euros dans la ville et ses alentours comme l'illustre l'image suivante (Figure 20) (Meseguer, Morales, et Espín 2012).



Figure 20. Des travailleurs de la mairie enlèvent la boue après les inondations du 28 septembre 2012. Derrière eux, sur les murs des bâtiments, de nombreuses fissures déjà bouchées, ainsi que les piliers refaits à cause du séisme de l'année précédente, montrent le caractère multirisque de la ville. Source : *Ayuntamiento de Lorca*.

Les habitants de Lorca sont conscients d'habiter dans une zone sismique, mais ne s'attendait pas forcément à des séismes aussi forts que celui de 2011. Cependant il y a une motivation palpable pour profiter de cet événement afin d'inculquer et créer cette culture du risque.

5.2 Lorca une ville fragile ?

La vulnérabilité physique (concernant les bâtiments) constitue la principale source de danger pour la population lors des séismes. Dans un cas hypothétique, si toutes les villes se situaient loin des failles et si tous les bâtiments et structures étaient construits pour résister à des séismes d'intensités extrêmement élevées, les dégâts dus aux séismes seraient probablement considérablement réduits. Or, dans la plupart des cas cette configuration suppose un investissement économiquement insoutenable. Changer de localisation les villes existantes situées près des failles ou rendre parasismiques tous les bâtiments y compris ceux qui font partie du patrimoine culturel n'est pas une priorité de nos sociétés. De plus il n'est pas raisonnable de penser à modifier les typologies structurales utilisées en Espagne mais il paraît important d'apprendre à coexister avec le risque sismique, comme explique Tibaúiza dans la citation suivante.

« Como no es razonable prever ningún cambio en las tipologías estructurales que se utilizan en España, es importante aprender a convivir con las existentes y mejorar su comportamiento sísmico. »¹⁵

(Tibaúiza et al. 2012)

Dans ce cadre, la réglementation parasismique essaye de minimiser les conséquences lors des pires scénarios. Elle est loin d'être parfaite (au vu des dégâts importants provoqués lors de ce séisme de magnitude modérée), c'est pour cela qu'elle est en constante évolution et amélioration, en tenant compte de chaque nouvel événement sismique. Dans cette dernière section nous décortiquerons le cadre législatif définissant la norme parasismique espagnole. Ensuite, nous nous focaliserons sur les dégâts observés dans la ville de Lorca suite au séisme du 11 mai, pour finalement essayer d'expliquer les raisons qui ont provoqué un nombre aussi élevé de dégâts importants.

¹⁵ « Comme il n'est pas raisonnable de s'attendre à un changement dans les types de structures utilisées en Espagne, il est important d'apprendre à vivre avec, et à améliorer le comportement sismique existant. »

5.2.1 La réglementation « *sismoresistente* »

Afin d'expliquer le titre de cette sous-section, nous voudrions faire une petite introduction en comparant le même concept (construction parasismique) en espagnol et en français. Même si dans la pratique, cela veut dire la même chose, en Espagne, nous l'appelons norme *sismoresistente* donc « sismorésistante », qui, selon nous, est plus précis car il désigne précisément la fonction de ces normes de construction, en incluant aussi ses limites. Ainsi le mot en espagnol nous évoque une réglementation qui essaye de réduire la vulnérabilité des bâtiments, et n'essaye pas d'arrêter le phénomène sismique comme s'il s'agissait d'une coupole coupant les ondes sismiques. Après cette petite parenthèse conceptuelle et linguistique, regardons comment est faite cette réglementation.

En Espagne, la première norme parasismique date de 1962. Depuis plus de 50 ans, jusqu'à cinq réglementations parasismiques ont été appliquées en 1967, 1968, 1974, et 1994 et l'actuelle de 2002. Chaque nouvelle réglementation est basée sur la réglementation antérieure et élargit, clarifie ou modifie les paramètres techniques. La réglementation actuelle s'intitule NCSE02 et date de 2002. Celle-ci établit les conditions techniques auxquelles doivent se soumettre les édifices afin que leur comportement face à des phénomènes sismiques n'ait pas de conséquences graves pour l'intégrité physique des habitants, évitent également les pertes économiques et assurent le maintien des services basiques pour la société, dans le cas des séismes de forte intensité (SISMORESISTENTS 2003). Ces objectifs, mieux définis dans la dernière réglementation, cherchent à s'aligner avec les normes parasismiques internationales. Ainsi, cette norme est plus stricte pour ce qui concerne les bâtiments spéciaux comme par exemple les services essentiels (hôpitaux ou centres liés aux urgences, pompiers, ou protection civile) ou les installations basiques pour la population (eau, électricité ou gaz).

La norme établit une carte de dangerosité sismique à échelle nationale ainsi qu'une carte avec les accélérations maximales basées sur la carte de dangerosité sismique en Espagne en termes d'intensité EMS 98 (accélération avec une période de retour de 500 ans) (Figure 17 - p 77). De manière plus précise, un tableau détaille l'accélération qu'il faut prendre en compte pour l'ensemble des villes espagnoles. En fonction des valeurs, des normes constructives sont requises, plus ou moins dimensionnées en fonction de la dangerosité prévue. Il est obligatoire de prendre en compte ces valeurs pour les constructions neuves, ainsi que lors des reconstructions, rénovations et restaurations. Cette même valeur conditionne aussi la directive de la Protection Civile, en forçant à établir un Plan Spécial d'Urgence (SISMIMUR) (Alfaro et al. 2011).

Même avec ce cadre législatif, les dégâts à Lorca ont été très importants. La partie qui va suivre va nous permettre d'aborder progressivement l'étude de l'exposition, les bâtiments endommagés étant à l'origine du danger, composante de l'exposition humaine.

5.2.2 Les dégâts sur les bâtiments de Lorca

Il est intéressant de rappeler qu'en 1956 un autre séisme de magnitude comparable a éprouvé les bâtiments du village d'Albolote, dans la Région de Granada, également localisée dans le sud-est de l'Espagne (Capote et al. 2011). Le séisme qui nous préoccupe, celui de Lorca, a eu lieu 55 ans après. Durant ces 55 années, la manière de construire en Espagne a été complètement modifiée en augmentant le nombre d'étages à 6 en moyenne. Nous sommes passés d'un système constructif traditionnel (de typologie urbaine "habitat continu bas", de hauteur R+1 ou R+2) à un système constructif industrialisé, plus sérié et standardisé (de typologie urbaine "habitat continu collectif haut", de hauteur R+6 ou plus (Alcalde Pecero 2002). Alors que le système constructif traditionnel était formé de murs porteurs (fermetures extérieures et cloisons) de maçonnerie (briques en argile cuite, pierre locale), avec des revêtements en chaux à l'extérieur et de plâtre à l'intérieur, aujourd'hui dominant les matériaux hautement transformés comme des éléments céramiques (briques et solives) et le béton armé. Les murs d'enceinte n'ont pas une vocation porteuse, et sont composés d'éléments céramiques (briques). Pareillement, le cloisonnement intérieur est composé d'éléments céramiques (briques) ou de panneaux préfabriqués. La structure verticale qui porte le poids des bâtiments est en béton armé, composée par des piliers situés à distances régulières (Alcalde Pecero 2002).

Le séisme de Lorca est extrêmement intéressant car c'est le premier cas réel qui permet de tester le comportement des constructions modernes (postérieures à 1955). Ce constat se traduit par un grand nombre de rapports apparus suite au séisme qui étudient les comportements des bâtiments (Rodríguez et al. 2011; Martínez 2012; Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012; Tibaduiza et al. 2012).

Un patrimoine culturel très endommagé

Le mouvement provoqué par le tremblement de terre consiste en des ondes sismiques transmises principalement de manière horizontale jusqu'aux fondations des bâtiments, produisant une accélération sur ceux-ci. Les bâtiments traditionnels tels que les églises, monastères ou couvents entre autres, avec leurs murs de grande dimension sont conçus pour supporter de grandes masses, de grands poids (coupôles et clochers), mais pas pour résister à des déplacements horizontaux. Normalement, plus un bâtiment est lourd, moins bon est son comportement ; de la même manière, s'il est rigide, il n'est pas capable d'assimiler des déformations imposées, et les parties les plus rigides risquent de se fracturer ou de casser (Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012).

Le centre historique de Lorca est riche en bâtiments religieux anciens, et fut déclaré *Conjunto Histórico-Artístico*¹⁶ en 1964, ce qui confère à cette partie de la ville une protection spéciale en assurant sa conservation patrimoniale. Cette configuration a provoqué que 33 bâtiments historiques ont souffert de dommages très difficiles à quantifier économiquement. Les dommages sont visibles sur des coupoles, contreforts, arcs et éléments ornementaux qui ont souffert dans plusieurs cas de rotations et de pertes d'équilibre.



Figure 21. Image aérienne de la tour du château de Lorca qui a souffert d'importants dégâts, notamment dans les coins supérieurs. Source : El País.

Plus précisément, les soubassements du château de Lorca se sont fortement délités, la muraille et les tours ont été gravement endommagées en raison de leur hauteur et de leur rigidité (Figure 21). A l'intérieur de la ville, 13 églises présentent des dommages structuraux graves, et se trouvent même en état de ruine qui a obligé leur fermeture comme par exemple l'église de Santiago (Figure 22).

¹⁶ Un ensemble historique-artistique est une déclaration légale qui regroupe tous les biens catalogués comme monuments historique-artistiques d'intérêt dans une localité déterminée. Ainsi, c'est un cadre législatif qui dote les monuments d'une protection régulée par le Ministère de la Culture Espagnol.

L'endommagement de ces bâtiments n'a pas provoqué de victimes. Etant donné que la première secousse a généré des fissures très évidentes sur les murs, au moment du deuxième séisme, il n'y avait personne dans les bâtiments. Comme l'a expliqué un prêtre lors de notre entretien, suite au premier séisme, il est allé examiner l'état de l'église dont il a la charge. Etant donné qu'elle présentait quelques dommages (déplacements des éléments de décoration et fissures), il a décidé d'annuler une session de catéchisme qui concernait 16 enfants, par précaution. Au fur à mesure que les enfants arrivaient, il les a renvoyés chez eux. Quelques minutes plus tard, avec le second séisme, la coupole entière s'est effondrée (Figure 22).



Figure 22. Vue aérienne de l'église de Santiago après le séisme. Sous l'énorme trou, le prêtre allait réaliser la séance de catéchisme annulée à la suite de la première secousse. Auteur : Nacho García.

Il est aussi étonnant que le monastère *de las Clarisas* n'ait pas provoqué de victimes étant donné l'état du bâtiment. Dans ce cas, il y avait des personnes à l'intérieur du bâtiment mais pas sous la partie qui s'est complètement effondrée (Figure 23).



Figure 23. Eglise du Monastère *de las Clarisas* , suite au séisme (Martínez 2012).

Cependant, toutes les victimes potentielles en raison de l'endommagement de ces bâtiments n'étaient pas seulement à l'intérieur mais aussi aux alentours des édifices. Un cas bien connu par toute la population espagnole s'est produit justement en direct à la télévision. Pendant une émission qui parlait des effets du premier séisme, un journaliste ainsi que le caméraman ont été surpris par la seconde secousse. Le tremblement a fait tomber le haut de l'église et les journalistes se sont presque fait ensevelir (Figure 24).



Figure 24. Séquence d'images de la chute du clocher pendant le deuxième séisme quand un journaliste de TV1 est en train d'interviewer des témoins de la première secousse. Le clocher tombe à quelques mètres de lui. Dans la dernière image nous observons le lieu depuis un autre angle. Sources : (TV1) et la photo en bas (Juan Francisco Moreno / EFE).

De la même manière, sur une place, pendant une autre émission, les journalistes ont pu filmer comment le clocher tombait complètement (Figure 25). Les

bâtiments religieux sont souvent entourés de places ou d'espaces ouverts (espaces préconisés pour se protéger suite aux séismes) ; outre qu'ils sont vulnérables, ils sont également très hauts. Cela fait supposer que les débris qui vont tomber peuvent avoir un rayon d'étalement très grand, ce qui constitue une autre source de danger à prendre en compte. En conclusion, les bâtiments religieux ont été gravement affectés mais n'ont pas causé de victimes. De par leur conception et leurs fonctions, différentes des bâtiments d'habitations, ces bâtiments ont été facilement clôturés et reconstruits par la suite. Etant donné qu'ils n'ont pas de fonction particulière lors de la période de crise, comme par exemple les hôpitaux ou les stations de traitement des eaux, et puisque'ils ne sont pas habités, ces bâtiments peuvent être rapidement fermés pour la sécurité des passants.



Figure 25. Chute en direct du niveau supérieur d'un clocher pendant une émission télévisée. Une importante quantité de débris sont propulsés sur la voie publique. Source : TheAnthonyo92 .noticias .

Les habitations

En ce qui concerne les habitations, suite au deuxième séisme, plusieurs équipes d'architectes, d'ingénieurs et de volontaires se sont chargées de l'évaluation d'urgence des bâtiments de Lorca et ses alentours. L'objectif de cette première évaluation d'urgence était d'estimer la sécurité et l'habitabilité des bâtiments. L'objectif de cette première évaluation était de détecter les bâtiments extrêmement dangereux pour la population. Une fois les bâtiments les plus fragiles identifiés, les jours suivants, les

évaluations avaient un caractère moins urgent. Un total de 7839 bâtiments ont été évalués la première semaine (Rodríguez et al. 2011).

Plus précisément, suite à chaque évaluation, une marque de couleur était faite à l'entrée du bâtiment, chaque couleur ayant une signification précise. Ces marques donnent principalement deux types d'informations. D'un côté des informations de sécurité du bâtiment et d'un autre des détails de procédure bureaucratique en cas de dommages importants. Une affiche a été distribuée dans la ville pour informer la population sur la signification de ce marquage (Annexe 4).

Les bâtiments révisés ont été marqués avec du vert, du jaune, du rouge ou du noir (Figure 26) :

- **Vert** : vous pouvez retourner dans la maison car elle n'a pas souffert de dommages structuraux significatifs.
- **Jaune** : vous devez contacter l'administrateur du bâtiment ou le président de la communauté des voisins afin de réaliser les réparations nécessaires. Une fois ces réparations finalisées, communiquez-les aux points d'information pour que l'immeuble soit révisé par les techniciens municipaux pour une nouvelle évaluation.
- **Rouge** : vous devez contacter l'administrateur du bâtiment ou le président de la communauté des voisins afin que la résolution des problèmes techniques du bâtiment soit gérée directement par le conseil d'urbanisme
- **Noir** : Les bâtiments en noir sont ceux qui ont été catalogués d'irréparables et qui sont donc les premiers à être démolis.

Parallèlement au marquage des bâtiments, une base de données a été créée. Nous en parlerons dans le chapitre méthodologique (4.2.3 Données compilées déjà existantes p 55).



Figure 26. Exemple d'étiquetage vert, jaune, rouge et noir sur les bâtiments de Lorca. Pour l'exemple du bâtiment en jaune, il est aussi indiqué que la corniche est en équilibre et peut tomber. Auteur : Marc Bertran Rojo

Le service d'urbanisme a donc géré tout le processus d'évaluation des bâtiments. En résumé la marque verte signifie que le bâtiment est utilisable. Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas de dommages légers tels que des fissures ou petits écroulements (dégâts non structurels). La classification jaune signifie que l'entrée du bâtiment est interdite avant la réparation des dommages, non structurels ou structurels légers. Le code rouge indique que le bâtiment est structurellement endommagé et que son entrée est complètement interdite jusqu'à nouvel ordre. Enfin les bâtiments en noir sont interdits d'accès et promis à une démolition imminente.



Figure 27. Organisation des évaluations des bâtiments au service d'urbanisme de Lorca. En haut à gauche, la carte de la ville avec les délimitations des sections de recensement utilisées pour répartir les tâches des évaluations des experts. Sur la droite, les bombes de peinture pour marquer les bâtiments. En bas, deux experts en train d'évaluer les dommages dans un bâtiment, et finalement le marquage sur la façade du bâtiment. La carte et la photo en haut à droite ont été prises au service d'urbanisme de Lorca 4 jours après la secousse (auteur : Marc Bertran Rojo). La photo du bas est une image provenant d'une vidéo créée par *Noticias de Hoy*. La dernière image est extraite de l'archive de la *Vanguardia*.

Parmi la totalité des bâtiments situés dans l'agglomération, soit 5155, 13% ont obtenu la qualification de rouge ou jaune. De ces 889 bâtiments avec des dommages, 550 présentaient des dommages structurels modérés donc en jaune (62%) alors que 326 avaient des structures gravement endommagées (marque rouge, 37 %). Par ailleurs, 13 bâtiments ont été démolis au cours de la première semaine qui a suivi le séisme, car leur structure était considérée comme irréparable. Nous détaillerons plus les dommages des bâtiments dans la sous-section (7.1.4 Localisation des bâtiments fragiles p 160). Spatialement parlant, les zones urbaines les plus affectées ont été le Centre Historique (16% des édifices affectés), le quartier de La Viña (41 %) ainsi que l'avenue de Santa Clara (40 %) (Rodríguez et al. 2011).

Les dommages sur les bâtiments ont été très bien documentés. Plusieurs articles détaillent tous les bâtiments les plus touchés en différenciant les bâtiments ayant subi des dommages structurels et ceux affectés par des dégâts non structurels (Rodríguez et al. 2011; Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012; Tibaduiza et al. 2012). Pour ce qui concerne les dommages structurels, les rapports des techniciens mettent en avant des dégâts sur les piliers courts ainsi que des étages fragiles avec différences d'hauteurs entre planchers (Rodríguez et al. 2011; Tibaduiza et al. 2012) (Figure 28).



Figure 28. Exemples de dommages sur des piliers. Auteurs : Patrick Murphy et Adrian Tomas Alarcon.

D'autres dommages structurels ont été produits sur des maisons anciennes avec des murs porteurs (Figure 29).



Figure 29. A gauche, bâtiment de trois étages de 1800. A droite, bâtiment de 1910 avec le même type de fissure verticale (J. Perez Mueles).

Comme nous l'avons déjà avancé, un seul bâtiment s'est effondré au moment du séisme, comme le montre les images ci-dessous.



Figure 30. Images du seul bâtiment que s'est effondré. En haut à gauche, une image extraite de Google Maps montre le bâtiment avant le séisme ; les autres montrent les dégâts après la secousse. Sources : *Libertad digital, la Vanguardia, Itesia*.

Un grand nombre de dommages non structuraux ont été identifiés. Nous en montrons par la suite une petite sélection (Figure 31). Dans cette sélection nous n'avons pas mis d'exemples de corniches car elles vont être traitées et utilisées plus en profondeur dans la partie (7.1.2 Période d'exposition maximale p 155).



Figure 31. Exemples de dommages non structuraux. Nous pouvons en trouver à différentes hauteurs, à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments (M. Feriche).

Pour quelle raison y a-t-il eu autant de dégâts matériels ? Dans la sous-partie suivante, nous essayerons d'en comprendre les principales raisons. Il nous paraît intéressant d'analyser ces éléments en vue des possibles transpositions et comparaisons avec d'autres cas d'étude dans le contexte méditerranéen.

Une des raisons que nous avons évoquée dans la partie (5.1.1 - p 77) pourrait être la sous-évaluation de l'aléa sismique, plus particulièrement de l'accélération maximale attendue. En effet la réglementation actuelle, la NCSE 02, prévoyait une valeur d'accélération possible à Lorca de 0,12 g. Dans l'ensemble du pays, l'accélération maximale prévue se situe à Santa Fe de Granada, à environ 200 kilomètres à l'est de Lorca et est de 0,24g. Rappelons que la valeur maximale enregistrée à Lorca a atteint 0,367g selon l'IGN¹⁷. Ainsi, la carte de dangerosité sismique (Figure 17 - p 77) est élaborée à partir de valeurs insuffisantes d'accélération basique ab. Les pays voisins de l'Espagne se sont déjà aperçus qu'il fallait augmenter ces valeurs mais la norme NCSE 02 n'a pas évolué depuis 2002. Dans les cas français et italien, au moment du tremblement de Lorca, ces valeurs étaient déjà révisées à la hausse. Par exemple, dans le cas français, l'ancien zonage sismique (1991) classifiait 5.000 communes avec un risque sismique, réparties en 5 zones différentes (DOM TOM inclus). Après sa révision, dans le nouveau zonage entré en vigueur le 1er mai 2011, le même risque concerne plus de 21.000 communes. De même, le nouveau découpage zonal passe de cantonal à communal ce qui apporte plus de précision aux décideurs. Le découpage espagnol dans la NCSE 02 reste régional. A partir de 2002, les bâtiments construits dans des villes avec une accélération prévue de 0,16g avaient l'obligation d'apporter des renforts sur les structures (SISMORESISTENTS 2003). Etant donné que l'accélération calculée pour Lorca était de 0,12g, ces renforcements n'ont pas dû être appliqués. De plus, les maisons construites avant 2002 avaient encore moins de restrictions.

Comme nous l'explique le professeur en géologie Antonio Aretxavala¹⁸, lors de la création de la réglementation NCSE 02, plusieurs voix se sont élevées et l'ont qualifiée de trop restrictive et exagérée. Après le séisme de Lorca et l'éruption du volcan sous-marin dans l'île canarienne de El Hierro¹⁹, les critiques ont porté sur la nécessité de réviser la NCSE 02 afin de la rendre plus restrictive (Díez et Larrea 2012).

Une autre raison qui semble expliquer le nombre élevé de dommages, et qui pourrait expliquer la différence entre l'accélération prévue et l'accélération observée, vient du fait de la mauvaise connaissance des failles actives. Ainsi la profondeur du foyer

¹⁷ Instituto Geográfico Nacional

¹⁸ Professeur en géologie et directeur technique du laboratoire de l'École d'architecture de l'Université de Navarre.

¹⁹ Volcan sous-marin dont l'éruption a commencé le 10 octobre 2011 dans les îles Canaries en Espagne. A partir de cette éruption volcanique, plusieurs séismes ont secoué l'île. Toute la population du village de la Restigna (le plus proche) fut évacuée.

est une variable essentielle : plus de foyer est proche de la surface, plus l'intensité locale à l'épicentre sera élevée, mais moins la zone affectée sera étendue. Il est donc important de prévoir les profondeurs de rupture probables. Evaluer la magnitude et localiser les failles (ce qui est déjà fait) ne suffit pas (Alfaro et al. 2011).

Laissant l'accélération surprenante de côté, un argument qui apparaît de manière récurrente dans les rapports techniques est celui d'éléments non structuraux. En effet, les techniques constructives typiques en Espagne, tels que, par exemple, les corniches en haut des bâtiments réalisés en maçonnerie, sont bien des éléments qui se sont révélés très fragiles et dangereux. Quand ces éléments sont plus rigides que la structure principale, la réponse du bâtiment au séisme est conditionnée par ces éléments. Plusieurs exemples sont à l'origine de discussions entre techniciens et architectes et le grand nombre de rapports apparus en sont la preuve (Alfaro et al. 2011; Díez et Larrea 2012; Martínez 2012; Tibaduiza et al. 2012). Ainsi, une des « *lecciones aprendidas* »²⁰ a été qu'il faut incorporer à la norme parasismique des prévisions claires et précises pour ce qui concerne le comportement des éléments non structuraux. Il faut calibrer des courbes de fragilité afin d'améliorer la prédiction des dommages structuraux, mais en prenant en compte les dommages prévus par les éléments non structuraux (Oterino et al. 2012). Pour finir, apparaît aussi le besoin de doter l'Espagne de mécanismes de contrôle afin de vérifier que les exigences parasismiques sont bien appliquées et d'appliquer des mesures correctives dans le cas contraire (Guevara 2011).

5.3 Comment la crise a-t-elle été gérée ?

Maintenant que nous avons une meilleure idée de l'état du bâti à la suite du séisme, et afin de mieux contextualiser l'état de la ville juste après l'événement, nous analysons ici comment s'est déroulée la gestion de la crise. Etant donné qu'un des objectifs de cette thèse porte sur les comportements, il nous paraît indispensable de nous pencher sur le déroulement de la gestion car elle va forcément influencer les comportements des individus. A titre d'exemple, quand les services de sécurité ont décidé que le centre urbain de Lorca devait être fermé, et qu'il a donc interdit sa traversée, ceci a eu une influence sur la population. Nous parlerons donc ici des actions immédiates entreprises par les services de sécurité. Ainsi nous détaillerons le cadre opérationnel prévu pour les périodes de crises sismiques, en même temps nous essaierons d'identifier les possibles défaillances. Alors que pour d'autres risques naturels (météorologiques, hydrologiques et même volcaniques) la prévision est

²⁰ Traduction littérale : leçons apprises. Extrait de l'article : *Lecciones aprendidas del terremoto de Lorca de 2011 (Lessons learned from the 2011 Lorca Earthquake)* (Alfaro et al. 2011).

primordiale pour la génération des messages d'alerte, l'état d'avancement de la science ne permet pas de réaliser de prédictions de l'heure, de la localisation exacte et de la force des séismes futurs.

Par ailleurs, nous souhaitons connaître dans quelle mesure le fait d'avoir eu un séisme précurseur influence la réaction de la population lors de la secousse principale. Nous allons voir que la réaction des services de sécurité, sans la première secousse, aurait été très différente. Nous allons donc exposer les principales caractéristiques de l'organisation et de la gestion des épisodes sismiques en Espagne et plus précisément dans la région de Murcia, pour ensuite observer comment s'est déroulé l'évènement de Lorca, et quelles mesures ont été prises par les services de sécurité.

5.3.1 Cadre opérationnel général

Approuvé par le conseil des ministres en 2010, le *Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico*²¹ établit à échelle nationale l'organisation et la gestion des ressources et les services de l'état nécessaires afin d'assurer une réponse efficace des administrations publiques face à des situations d'urgence provoquées par un séisme. Ensuite, à plus grande échelle, chaque région a son plan de protection face au risque sismique. Suite à un séisme, l'information concernant le séisme est diffusée dans un premier temps par *l'Instituto Geográfico Nacional*²² (IGN). Cet organisme a les compétences pour planifier la gestion des systèmes de détection et de communication des tremblements de terre dans le territoire espagnol. L'IGN envoie l'information au centre d'appels du 112 de la région concernée ainsi qu'à la *Dirección General de Protección Civil y Emergencias*²³ (DGPCE) plus concrètement à la *Sala de Coordinación Operativa de Protección Civil*²⁴ (SACOP).

²¹ Traduction littérale : Plan de l'Etat de Protection Civil face au Risque Sismique

(<http://emercomms.ipellejero.es/2010/04/09/plan-estatal-de-proteccion-civil-ante-el-riesgo-sismico/>)

²² C'est équivalent à l'Institut Géographique National Français. Cependant l'IGN français reste un établissement public qui a pour mission d'assurer la production, l'entretien et la diffusion de l'information géographique en France. L'IGN espagnol réalise la même tâche en Espagne mais est également chargé de l'observation et du traitement des données, pour ce qui concerne l'astronomie et la géologie donc la sismologie (<http://www.ign.es>).

²³ DGPCE. Traduction littérale : Direction Générale de Protection Civile et Urgences. Il est équivalent à la Fédération Nationale de Protection Civile en France. Ils ont comme objectif de répondre avec la meilleure efficacité possible aux demandes de sécurité existantes dans la société (<http://www.proteccioncivil.org>).

²⁴ SACOP. Traduction littérale : Salle de Coordination Opérative de Protection Civile. Elle se trouve dans la DGPCE. A partir de cet espace réel sont coordonnées et centralisées les interventions sur le terrain des services de sécurité de l'Etat Espagnol (<http://www.intelpage.info/sala-de-coordinacion-operativa-de-proteccion-civil.html>).



Figure 32. Salle de *Coordinación Operativa de Protección Civil* (SACOP) de la *Dirección General de Protección Civil y Emergencias* (DGPCE). Source : Ministère de l'intérieur.

Dans la région de Murcia où se trouve Lorca, le plan régional s'appelle SISMIMUR, *Plan de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de Murcia*²⁵ homologué en 2009. Une fois reçue l'information et en fonction des protocoles, les plans d'urgence sont activés ou non. Les objectifs de ce plan sont d'organiser et de coordonner les interventions des ressources et services de la région, connaître la dangerosité existante face aux séismes et estimer la vulnérabilité des constructions qui, en cas de destruction, peuvent interrompre des services basiques (SISMIMUR, 2008).

Le plan peut déclencher trois phases entraînant des actions spécifiques à chacune d'entre elles. Ces phases peuvent être activées de manière successive si les phénomènes sont de plus en plus violents mais dans les cas des séismes ce n'est pas souvent le cas, étant donné qu'il ne s'agit pas d'un phénomène avec une augmentation graduelle du danger.

²⁵ *Plan SISMIMUR*. Traduction littérale : Plan de Protection Civile face au Risque Sismique de la Région de Murcia. Face à la réalité que cette région présente un risque sismique avéré, il a été convenu ce plan qui a comme objectif d'assurer l'intervention efficace et coordonnée des ressources et des moyens disponibles afin de limiter les conséquences des possibles tremblements de terre sur les personnes, les biens et l'environnement. Le plan a été créé par la Région de Murcia ou *Comunidad Autónoma de Murcia* (CRAM) (CARM 2006).

La première phase est d'Intensification du Suivi de l'Information. Dans cette phase, les phénomènes sismiques ne provoquent pas de victimes ni de dommages matériels graves. Sur le plan opérationnel, la « situation 0 » se traduit par un suivi instrumental des phénomènes ainsi qu'une augmentation de l'information près des organes qui ont une relation avec la protection civile et la population en général.

Dans le cas où un séisme provoque des dommages matériels d'une certaine importance et qu'il a provoqué des décès ou blessés, la Phase d'Urgence (deuxième phase) est activée. Cette phase reste active tant que sont prises toutes les mesures nécessaires pour le sauvetage et la protection des biens et personnes. En fonction des moyens nécessaires afin de revenir à une situation contrôlée, trois niveaux d'urgence pourront être activés dans cette phase. Le premier niveau est suffisant si la crise peut être contrôlée avec les moyens locaux et régionaux ; le deuxième niveau est activé quand des moyens disponibles en dehors de la région frappée sont nécessaires. Un dernier niveau s'active quand le Ministre de l'Intérieur espagnol décide que la crise est d'intérêt national, soit parce que l'état passe à un état d'alerte, ou bien parce que la crise affecte plus d'une région.

Finalement, seulement quand l'urgence est complètement sous contrôle, le directeur du plan va passer à la phase de Normalisation et Fin de l'Urgence. A partir de ce moment, les efforts sont mis à la sécurisation ou démolition ainsi qu'à des tâches de relogement des personnes évacuées. Par la suite, nous analysons comment cette procédure a été appliquée dans le cas de Lorca.

5.3.2 Circulation de l'information et application des mesures à Lorca

Trente minutes après la première secousse, vers 17H35 la *Sala de Coordinación Operativa de Protección Civil* (SACOP) à la (DGPCE) a reçu un fax de l'IGN avec les informations suivantes :

« Sismo ocurrido a las 17:05 horas del día 11/05/2011 en NE LORCA. MU (Murcia).

Magnitud 4,4 mbLg. Longitud: -1,67 O - Latitud: 36,69 N (Evento 1060256) »

Le message précisait le type d'évènement (séisme), l'heure et le jour de son occurrence ainsi que sa magnitude et sa localisation. Suite à ce message, la SACOP a fait remonter le message aux responsables de la DGPCE, ainsi qu'aux cabinets

d'information de la *Delegación de Gobierno en Murcia*²⁶, le 112²⁷ de la région de Murcia et des régions limitrophes. Il faut signaler que ces informations sont redondantes car le protocole de l'IGN stipule que celui-ci doit aussi prévenir ces institutions. Depuis la SACOP sont compilées toutes les informations disponibles afin de déterminer la gravité de l'événement. Ce rapport avait conclu que le tremblement avait été ressenti largement dans la région de Murcia, ainsi qu'à l'extérieur de la région, dans les villes d'Albacete (au nord) et Almeria (au sud). Depuis la région de Murcia le Plan SISIMUR a été activé en phase d'Urgence (niveau 1) vers 17H40 (soit cinq minutes après avoir reçu le fax de l'IGN), car ils ont considéré que les moyens de la ville et de la région pouvaient assurer la protection des biens et des personnes (González López 2012). Suite au séisme, plusieurs moyens de communication comme la télévision nationale se sont très rapidement rendus dans la ville de Lorca, et ont ainsi pu diffuser des informations permettant de connaître la situation en temps réel.

Le deuxième séisme a eu lieu vers 18H47 et trois minutes plus tard le SACOP a reçu de la même manière que pour la première secousse :

« *Sismo ocurrido a las 18:47 horas del día 11/05/2011 en NE LORCA (Murcia). Magnitud 5,1 mbLg, intensidad VII. Longitud: -1,67 O - Latitud: 37,7 N (Evento 1060340)* »

En suivant les protocoles établis par le *Plan de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de la Comunidad Autónoma de Murcia*, la DGPCCE a réalisé des simulations des dommages selon plusieurs hypothèses et a estimé qu'il était possible qu'il s'agisse d'un des séismes les plus graves en Espagne dans les 50 dernières années. Vers 19H20 le niveau 2 du plan SISIMUR a été activé, ce qui signifie que des ressources et services de l'ensemble de l'Etat étaient nécessaires pour faire face à la crise. L'*Unidad Militar de Emergencia*²⁸ (UME) et la Croix Rouge ont été mobilisées et des conventions avec CARREFOUR ont été activées pour la manutention et le logement des sinistrés. De la même manière, la multinationale TRAGSA²⁹ a été contactée pour le nettoyage des débris.

A la DGPCCE a été constitué le *Comité Estatal de Coordinación*³⁰ (CECO) sous la présidence du sous-secrétaire du Ministère de l'Intérieur. Comme le plan de l'Etat le

²⁶ *Delegación de Gobierno en Murcia (DGPCCE)*. Représentant de l'état au niveau régional situé au ministère de l'Intérieur. Equivaldrait au préfet de région (http://www.seap.minhap.es/ministerio/delegaciones_gobierno/delegaciones/murcia.html).

²⁷ 112. Numéro d'appel réservé aux urgences, valide dans l'Union européenne. C'est un centre qui canalise tous les appels de la population et donne une réponse immédiate et coordonnée de tous les services d'urgence.

²⁸ Traduction littérale : Unité Militaire d'Urgence. C'est une institution qui a comme mission l'intervention dans tout le territoire national afin de contribuer à la sécurité et au bien-être des citoyens, avec les institutions de l'Etat et les Administrations Publiques (<http://www.ume.mde.es>).

²⁹ TRAGSA est une multinationale capable de proposer entre autres, une réponse immédiate en situation d'urgence provoquée par de catastrophes naturelles (<http://www.tragsa.es/>).

³⁰ Traduction littérale : Comité de coordination de l'état.

définit, ce comité est constitué par les représentants des institutions et organismes qui disposent d'outils et de moyens pour pallier les effets de l'évènement. Ces institutions et organismes sont : les directeurs généraux de la Gendarmerie et de la Police Nationale, de *l'Instituto Geografico Nacional*, de la *Policia de Defensa*, du *Departamento de Infraestructura y Seguimiento para Situaciones de Crisis*³¹, du Trafic, de la Protection Civile et des Urgences, la TRAGSA et la Croix Rouge. Ce comité en constant contact avec la délégation du gouvernement de Murcia était chargé de coordonner les moyens et décisions nécessaires à adopter afin de renforcer les camps de réfugiés établis par le plan SISMIMUR. Par la suite nous résumons les dispositifs et les principales communications lors de la période de crise des services de sécurité.

³¹ Traduction littéraire : Département d'infrastructures et surveillance pour les situations de Crise est un département auxiliaire à la présidence du gouvernement l'aidant à prévoir l'ensemble de mesures à adopter afin d'assurer, pour part de l'état, une réaction immédiate en concordance avec la situation donnée.
(<http://www.intelpage.info/departamento-de-infraestructura-y-seguimiento-de-situaciones-de-crisis.html>)

17H05 Le premier séisme secoue la ville de Lorca

17H35 Le SARCOP reçoit un fax (de la part de l'IGN) avec les informations du premier séisme (heure, magnitude, localisation).

17H40 Activation du *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia* (SISMIMUR), Niveau 1.

18H47 Le second séisme secoue la ville de Lorca

18H50 Le SARCOP reçoit un fax (de la part de l'IGN) avec les informations du second séisme (heure, magnitude, localisation).

19H15 Le représentant du gouvernement dans la région informe qu'il va solliciter l'*Unidad Militar de Emergencias (UME)* par pétition de la Région de Murcia. Le CECO est constitué. Niveau 2 de plan SISMIMUR.

19H16 Le centre de Lorca est plein des débris. La DGPCE réalise des simulations afin d'imaginer les dégâts provoqués par le séisme avec SES 2002³².

19H34 Depuis le SACOP un mail est envoyé à la UME (*Unidad Militar de Emergencias*) et ses services sont sollicités.

20H30 La UME communique qu'il y a 5 minutes qu'ils sont partis de Bétera (à 300 kilomètres de Lorca).

20H30 Le représentant du gouvernement dans la région confirme 8 décès et demande information immédiate à la UME pour l'heure d'arrivée.

21H15 Création du *Comité Estatal de Coordinación* (CECO) dans la DGPCE.

Interventions entreprises à ce moment :

- Mobilisation des moyens de la police et la Gendarmerie.
- Mobilisation des moyens de la Direction Générale de Trafic.
- Activation de la part de la Direction General de Política de Defensa d'un hôpital de campagne de la Brigade Sanitaire Militaire
- Activation de l'accord des Tentes de Campagne d'assistance psychosociale de la Croix Rouge
- Mobilisation d'une Unité Mobile avec une Station Sismique.

22H10 La Croix Rouge informe que toutes ses équipes de réponse immédiate sont prêtes à agir. L'accord avec Carrefour est activé afin de préparer à manger et fournir de l'eau pour 20.000 personnes.

01H00 (Jour 12) L'IGN envoie l'Unité Mobile avec une Station Sismique.

01H44 (Jour 12) 10.000 personnes sont dans les campements de la UNE et la Croix Rouge avec distribution de bouteilles d'eau et aliments.

Extrait de : (Santamaría, López, et Alguacil 2012)

³² C'est un logiciel créé par la *Delegación General de Protección Civil* en collaboration avec l'IGN. Ce logiciel permet de réaliser des simulations de tremblements de terre dans tout l'état pour ensuite estimer le nombre des dégâts sur les bâtiments.

5.3.3 Une réponse des services de sécurité « sans planification »

« Podemos felicitarnos por que la respuesta de los servicios de emergencia (incluidas Fuerzas Armadas) frente al desastre, fue coordinada, diligente, eficaz y proporcionada. Pero no podemos añadir el calificativo de planificada, toda vez que hemos puesto en práctica lo establecido en nuestros distintos planes de emergencia, y normas de sismo resistencia, pero lo previsto se ha quedado corto. » (Ricardo Villalba Gomez, Coordinador del Servicio de Emergencias Municipal)³³ (Alfaro et al. 2011)

Comme l'explique cette citation du Coordinateur des services d'urgence de Lorca, la réponse de ces services a été efficace et équilibrée mais par contre l'adjectif qu'il ne peut pas attribuer à la gestion de la crise est celui de « planifiée ».

Selon l'entretien avec le responsable de la Protection Civile de la Ville de Lorca, la première opération réalisée suite à la première secousse fut principalement d'aller chez les habitants qui s'interrogeaient sur les dangers encourus en restant à l'intérieur des bâtiments. Autrement dit, ils ont été s'assurer du bon état de certains immeubles.

*« Por ejemplo, nosotros fuimos al centro de salud que estaban los médicos en la calle se había agrietado la escalera, nos preguntaron si podían seguir dentro o no, mucha gente ya por la calle, algunos colegios que tenían clase por la tarde pusieron en marcha su plan de evacuación porque se habían agrietado, habían escuchado con el terremoto crujir las estructuras y esas cosas y se había creado alarma. »
(Responsable de Protección Civil de Lorca)³⁴*

Par ailleurs, après le séisme, les pompiers ont réalisé une première inspection rapide de l'état des bâtiments éliminant les éléments qui pouvaient tomber et représenter une source de danger pour la population (González López 2012).

Comme nous l'avons déjà indiqué, la ville de Murcia avait activé le Plan SISMIMUR en situation 1 : au moment de la deuxième secousse, plusieurs effectifs de secouristes étaient soit en route soit déjà sur place ce qui a permis une première

³³ Nous pouvons nous féliciter que la réponse des services d'urgence (y compris les forces armées), ait été coordonnée, rapide, efficace et proportionnée. Mais nous ne pouvons pas dire qu'elle ait été planifiée, puisqu'une fois mis en œuvre nos différents plans d'urgence, et normes de résistance au séisme, ce qui était prévu était insuffisant.

³⁴ Par exemple, nous sommes allés au centre de santé, les médecins étaient dans la rue, les escaliers s'étaient fissurés, ils nous ont demandé si ils pouvaient continuer dans les locaux ou pas, il y avait beaucoup de gens dans la rue, certains collègues qui avaient classe l'après midi ont mis en marche leur plan d'évacuation parce qu'ils s'étaient fissurés, ils ont entendu les structures craquer lors du tremblement de terre et certains ont paniqué.

intervention rapide. Pendant les premières heures, après la deuxième secousse ont débuté les tâches de recherche et de sauvetage ainsi que l'assistance aux personnes blessées ainsi que le transport des blessés les plus graves vers les centres hospitaliers.

« Il faut noter que contrairement à ce qu'on pourrait penser au premier abord, le nombre de personnes qui ont dû être secourues était très limité et, dans aucun cas, il n'y avait de personnes ensevelies sous les décombres des bâtiments, car l'existence d'un premier tremblement de terre (précurseur) largement et sévèrement ressenti, fait que la plupart de la population a eu peur et ils ont abandonné leurs maisons, se trouvant à l'extérieur au moment du séisme principal » (González López 2012).

Les entretiens réalisés sur le terrain confirment clairement les éléments présentés dans l'article de Gonzalez Lopez, et mettent en évidence que la rapide intervention des services de sécurité a été en grande partie due à la première secousse. Ainsi la rapide et massive intervention n'est donc pas le résultat de l'exécution d'un plan bien défini et exécuté, mais plutôt une conséquence du premier séisme, qui a activé à l'avance une grande partie des protocoles d'intervention en cas de séisme. Quelles ressources humaines et matérielles ont-elles été mises en place pour gérer la période de crise et le « retour à la normale » ?

5.3.4 Quels moyens ont été déployés ?

Le jour-même du séisme, 4 campements ont été installés dans les quartiers de las Viñas, Saint Fernando, Sutullena, et dans l'Institut Ibañez. Le campement principal a été installé au *Huerto de la Rueda* et il a accueilli 4 000 personnes (Figure 33).



Figure 33. Photographie aérienne du campement de *Huerto de la Rueda* (Lorca, mai 2011) Source : (*Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia)* 2011).

Le *Escalón Médico Avanzado del Ejército*³⁵ (EMAT) a installé un hôpital de campagne avec le personnel nécessaire pour l'intervention d'urgence ainsi que pour assister les services affectés des hôpitaux de Lorca gravement endommagés. Ensuite, étant donné le grand nombre d'habitations endommagées, les différents services de sécurité concernés par la crise se sont répartis en trois tâches : proposer une assistance psychosociale aux victimes, créer et gérer des campements pour les personnes évacuées, et évaluer les dommages dans les immeubles et infrastructures. Ces tâches, qui ont débuté le 11 mai, ont perduré entre une et deux semaines.

D'après le gouvernement espagnol, depuis le début de la crise, 630 agents de la *Unidad Militar de Emergencias* (UME) et de *l'Ejército de Tierra*³⁶ ont été envoyés, avec 195 véhicules, 5 chiens et un hélicoptère. La *Dirección General de Protección Civil y Emergencias*, (DGPCE) a activé l'accord avec la Croix Rouge, ce qui s'est traduit par l'installation de 6

³⁵ Les EMAT sont les Unités de Santé Militaires d'intervention rapide, polyvalentes, autonomes, modulables et aérotransportables, capables de fournir un soutien pour le traitement de l'urgence quelle que soit la situation ou l'environnement concerné.

³⁶ Traduction littérale : Armée de terre

*Equipos de Respuesta Inmediata en Emergencias*³⁷ (ERIE's) pour abriter les sans-abris (personnes évacuées), 4 ERIE's avec une aide psychosociale, 2 ERIE's de communication et coordination. De plus, la DGPCE a fourni 7720 couvertures, 1115 kits d'hygiène, 1300 sacs de couchage ainsi que 887 lits, tout cela le premier jour. Si on comptabilise le matériel fourni jusqu'au 20 mai, il faut rajouter 31617 rations de petit déjeuner, déjeuner et dîner, 117 tentes, 3 équipes d'éclairage. Enfin, il faut également rajouter tout le matériel de l'Unité Militaire d'Urgence qui a de l'importance, 1100 litres d'eau en bouteille, ses conteneurs et 720 literies entre autres (González López 2012).



Figure 34. Membres de l'Unité Militaire d'Urgence en train de se répartir les tâches suite au séisme de Lorca (Source : Juan Carlos Cardenas / EFE).

Les forces et corps de sécurité de l'Etat ont mobilisé à Lorca 200 effectifs des *Unidades de Intervención Policial*, 70 policiers de Lorca, une équipe de sauvetage de 5 chiens sauveteurs, une équipe de sauvetage en sous-sol et 505 agents de la *Guardia Civil* avec 4 chiens sauveteurs aussi. A cela il faut ajouter 2 véhicules spéciaux de sauvetage de *Grupo Operativo de Intervenciones Técnicas de la Policía*³⁸ (COIT) et 3 hélicoptères dont un

³⁷ Traduction littérale : Equipes de Réponse Immédiate en Urgences. Ce sont des équipes de la Croix Rouge composées de bénévoles spécialisés pour intervenir partout sur le territoire national. Ils ont une formation et une méthodologie de travail homogènes. Ces équipes peuvent être mobilisées en quelques heures après un appel d'urgence.

³⁸ Traduction littérale : Groupe d'Interventions Techniques de la Police. Ce groupe possède une grande formation professionnelle et technique afin de collaborer contre le trafic de drogue, le terrorisme ou l'assistance en cas de grande catastrophe.

Superpuma avec une capacité de 24 passagers ou de 6 lits et 9 sièges. Finalement, la *Dirección General de Tráfico*³⁹ a aussi mis en place un dispositif spécial constitué de 84 membres de la *Agrupación de Tráfico de la Guardia Civil*, 31 véhicules, 18 motos et deux hélicoptères.

Avec cette avalanche d'informations, nous voulions indiquer au lecteur les éléments nécessaires pour se rendre compte de la grande quantité de ressources humaines et matérielles qui ont été déployées pour faire face au séisme considéré comme le plus destructeur des dernières décennies en Espagne. Mobiliser tous ces effectifs de manière efficace et coordonnée n'a pas été une tâche facile et de cette expérience est née une initiative de gestion multirisque qui intègre l'échelle locale, mais aussi régionale et nationale.

5.3.5 Une proposition de gestion naît de l'expérience de Lorca

Dans cette partie, nous analysons les points d'amélioration possible du plan SISMIMUR identifiés par les services de sécurité. Suite au séisme du 11 mai, le plan a été mis en question, notamment dans sa dimension opérationnelle. Il s'en tient à l'identification du risque et la gestion immédiate de l'urgence mais sans donner le détail des activités précises pour garantir la réussite de sa mise en oeuvre. De plus, il n'existe pas de validation de l'efficacité du plan. En 2011, parmi les plans spéciaux de gestion des crises existants, seulement un, celui de Galice⁴⁰, inclut un modèle de contrôle de qualité et de traçage des opérations. Dans l'article *Seismos del 11 de Mayo de 2011 en Lorca*, Guevara détaille les caractéristiques du plan SISMIMUR et énumère quels en sont les défauts et les carences. Ici, nous traduisons seulement ces faiblesses (Guevara 2011).

« Nous sommes loin de l'utilisation correcte de la gestion des risques (...) Nous avons besoin d'éléments comme l'Indice de Gestion des Risques⁴¹. Afin d'optimiser tout le processus il faut que les plans soient des plans globaux de gestion de risque qui intègrent : (...) l'évaluation des menaces, (...) l'information publique et la participation communautaire, (...) l'éducation à la gestion des risques, l'aménagement du territoire et la protection environnementale, (...) l'amélioration des habitations et le déplacement des habitations hors des zones à risque, l'actualisation et le contrôle de l'application des normes et codes de construction, le renforcement et intervention de la vulnérabilité des biens publics et privés, (...) la

³⁹ Traduction littérale : Direction Générale du Trafic. C'est l'équivalent de la DGT en France.

⁴⁰ Région du nord-ouest de l'Espagne.

⁴¹ IGR : c'est le premier indicateur international systématique et robuste développé pour mesurer la performance de la gestion des risques (Carreño et al. 2007).

planificación para la rehabilitación y reconstrucción, (...). Todo cela amènerait à une meilleure gestion du risque. Etant donné que les plans d'urgence et les plans de résilience ne sont pas connectés, le temps et le coût augmentent suite à un impact. »

Comme nous l'avons vu, d'après Guevara, les carences ne se focalisent pas sur la période de crise alors que c'est surtout sur cette période que des dysfonctionnements ont été détectés par les services de sécurité. De plus, lors des entretiens réalisés auprès de la Police, du chef des Pompiers de Lorca et du responsable de Protection Civile, le rôle du plan de gestion de crise est vraiment anecdotique voire inexistant. On peut donc s'interroger : l'amélioration du plan va-t-elle avoir des répercussions directes sur la réactivité des services ?

Les récits collectés suite aux entretiens auprès des Pompiers et de la Protection Civile mettent en évidence qu'il est possible de mieux se préparer à ces situations afin d'optimiser l'usage des ressources et d'augmenter en efficacité. Premièrement, d'après l'entretien avec un major de la Police, suite à la deuxième secousse, sa tâche était principalement liée à la gestion du trafic. Après le deuxième séisme, les forces de police se sont déployées aux carrefours les plus importants afin d'évacuer la ville et d'empêcher les voitures d'y entrer à nouveau. Dans les jours suivants, les forces de police ont eu la même mission tout en ayant à gérer également l'entrée des techniciens qui réalisaient les diagnostics des bâtiments. Cet entretien n'a pas révélé de problèmes d'organisation ou d'autre type, à la différence de celui réalisé auprès de la Protection Civile et des Pompiers.

Comme nous l'explique le responsable de la Protection Civile, dans l'extrait de l'entretien ci-dessous, lors du deuxième séisme il était en train de sortir d'un centre de santé avec un collègue, lui aussi membre de la protection civile. Ils ont entendu par radio que le complexe sportif Europa s'était effondré, car leurs collègues disaient avoir vu des débris du bâtiment. Le responsable de la Protection Civile et son collègue se sont immédiatement rendus sur place car à cette heure il y a généralement beaucoup d'enfants qui s'y trouvent pour leurs activités extrascolaires. Une fois sur place, ils se sont rendus compte qu'il n'y avait personne, car, suite au premier séisme, les encadrants des activités avaient renvoyé les enfants chez eux.

« A mí el segundo terremoto me pilla saliendo del centro de salud, por la emisora escuchamos otros compañeros, y estaban con el camión grande y dicen el Europa se ha caído, porque ven que se desprenden trozos del edificio, e inmediatamente nosotros nos vamos al Europa porque a esa hora hay en el Europa hay dos piscinas con el club de natación, cursos de natación pues todos los niños, el balonmano, el baloncesto, hay dentro hay gimnasio hay squash, o sea, es un centro enorme

Moi :¿Cómo sabes que hay gente dentro? ¿Os lo imagináis?

No, no, claro yo me imagino que hay gente, cuando llegamos nos encontramos que no hay nadie, que el primer terremoto, los monitores deciden cortar y sacar a los niños del agua y sacarlos del edificio.»⁴²

(Responsable de Protection Civile)

Pour aller du centre de santé au complexe sportif dans la même rue, selon Google Maps il faut compter 500 m et cela leur a pris 5 minutes. C'est-à-dire entre l'aller et le retour ils ont mis une quinzaine de minutes pour aller à un endroit où il n'y avait personne. Pendant ces 15 minutes suite à la secousse principale, auraient-ils pu être plus utiles ailleurs ? Comment auraient-ils pu éviter ce trajet ?

Pour continuer avec ce témoignage, ensuite, ils sont retournés en direction du centre de santé pour se rendre à l'avenue principale de Lorca (Avenue Juan Carlos I). Une fois sur l'avenue, ils ont apporté de l'aide à ceux qui en avaient besoin. Selon le responsable de la Protection Civile, 20 minutes après la seconde secousse, ils étaient encore déconnectés car ils n'avaient pas des radios et il n'y avait pas de réseau téléphonique. Donc, les personnes qui essayaient d'appeler le 112 ne pouvaient pas recevoir l'aide de cette unité de Protection Civile.

Par rapport à l'organisation lors du déploiement des services de sécurité, une idée qui apparaît lors de deux entretiens est celle de « *mano levantada* ». « *Mano levantada* » signifie « main levée », c'était le principal mode de rencontre entre le service d'urgence et la personne ayant besoin d'aide. Sortir de son service sans savoir exactement où aller est un choix (selon le responsable de la Protection Civile), d'autres services n'ont pas procédé de la même manière. Il introduit l'idée que la « chance » le guide vers les personnes qui ont besoin de son aide. Par exemple, lorsqu'ils sont arrivés face un restaurant *Fast Food*, les employés du restaurant les ont appelés car ils avaient laissé une grande quantité d'appareils allumés, entre autres la friteuse qui pouvait se révéler dangereuse.

« (...) 20 minutos después del terremoto más o menos, ...por allí más o menos, entramos en Juan Carlos I - este soy yo – (il me montre la photographie (Figure 35) lo primero que nos encontramos... aquí todavía estamos sin comunicación, es decir, nosotros vamos a esta zona a ver lo que

⁴² Moi, le deuxième tremblement de terre m'a surpris en sortant du centre de santé. A la radio on a entendu des collègues qui étaient dans le grand camion et disaient l'Europe (centre sportif) s'est écroulé, parce qu'ils voyaient tomber des morceaux de bâtiment, nous sommes immédiatement allés vers l'Europe car à cette heure-ci, il y a deux piscines avec des clubs de natation, des cours de natation pour tous les enfants, du handball, du basket-ball, à l'intérieur il y a un gymnase, il y a une salle de squash, c'est un centre sportif énorme.

Moi: Comment savez-vous qu'il y a des gens à l'intérieur? Vous l'imaginez-vous?

Je m'imagine qu'il y a des gens, quand nous sommes arrivés nous nous sommes rendu compte qu'il n'y avait personne, que lors de la première secousse, les moniteurs ont stoppés les cours et évacués les enfants des piscines et des bâtiments.

encontramos... aquí todavía estamos sin comunicación, es decir, nosotros vamos a esta zona a ver lo que nos encontramos allí, en vez de quedarnos, algunos servicios optaron por esperar a que les dijeran donde tenían que ir y nosotros nos movimos, muchas veces nos ayudó también la casualidad en el funcionamiento. Nos vinimos aquí e inmediatamente, aquí hay un Burger King, lo primero - por eso te decía lo que mano levantada - lo primero que hacen al vernos llegar los del Burger King decimos: "oye mira como está esto, hemos salido fuera, tenemos la freidora con las patatas friéndose, tenemos un montón de cosas allí enchufadas y eso sale ardiendo.»⁴³ (Responsable de Protección Civil)



Figure 35. Image de l'avenue Juan Carlos I une vingtaine de minutes après le séisme. Sur la photo nous pouvons apprécier, avec un uniforme de Protection Civile, le responsable que nous avons eu l'occasion d'interviewer. Le restaurant *Fast Food* qui apparaît dans la précédente citation se trouve en face des voitures écrasées dans la partie inférieure droite de l'image. Source : Juan Carlos Cardenas / EFE.

⁴³ « (...) environ 20 minutes après le tremblement de terre ... nous sommes entrés à Juan Carlos I - c'est moi - (il Montre la Photographie) la première chose que nous trouvons... ici il n'y a toujours pas de communication c'est à dire, nous allons dans cette zone pour voir ce que nous allons y trouver au lieu de rester, certains ont choisi d'attendre dans leurs locaux et d'attendre qu'on leur dise où ils devaient aller, et nous, nous nous déplaçons, nous avons aussi souvent été aidés par des coïncidences, ce qui a contribué au bon fonctionnement.

Nous sommes arrivés sur place immédiatement, où il y a un Burger King- c'est pour cela que je disais à main levée – la première chose qu'ils ont fait au Burger King quand ils nous ont vu arriver c'est dire: "regardez comment c'est, nous sommes sortis à l'extérieur, nous avons la friteuse avec les frites en marche, et plein de choses branchées là-bas qui vont brûler.»

Par ailleurs, le chef des pompiers (Antonio Bonillo) d'astreinte lors du séisme de Lorca, nous raconte qu'au début de la crise, seules deux équipes étaient destinées exclusivement à résoudre des problèmes de gaz et d'eau qui pouvaient survenir. Les autres unités, à sa demande, ont été déployées par zones, avec la consigne d'aider toute personne nécessitant de l'aide, donc qui levait la main pour solliciter leurs services.

« El resto de gente, además la orden directa era mía, era atender a la persona, a mano alzada. O sea, me llamas, estoy. Entonces lo que se hizo fue desplegar a todos... o sea, por zonas, se designaban grupos, lógicamente Lorca, no sé si la conoces, tiene un casco urbano bastante problemático.»⁴⁴ (Chef des pompiers de Lorca)

Un autre problème évoqué par chef des pompiers est le fait de ne pas avoir de stocks de matériel et d'alimentation prévus pour ce type de catastrophes. Dans son récit apparaissent les exemples des couvertures, des matelas ou du lait. Selon lui, il faudrait créer et surtout entretenir un réseau de matériel renouvelé en permanence, afin d'y avoir accès au moment où le besoin s'en fait sentir. Il serait idéal de connaître à l'avance de combien de ressources ils disposent et où aller les chercher.

D'après les 20 entretiens que nous avons réalisés auprès de la population, il apparaît que l'intervention des services de sécurité a été efficace et rapide étant donné le chaos et la peur qui régnaient dans la ville. Aucun manque n'a été relevé, cependant, à travers le discours des services de sécurité, nous avons l'impression qu'ils ont eu le sentiment d'improviser énormément. Cependant, étant donnée la concentration des dégâts, ainsi que la réponse massive et rapide de tous les services qui étaient déjà activés suite à la première secousse, le bilan reste très positif.

Le séisme de Lorca a mis en relief qu'il y a de la marge pour travailler de manière plus organisée et planifiée et que le plan SISMIMUR ne détaille pas assez précisément la manière dont une ville doit s'organiser pour se reconstruire après un tel événement. Un groupe pluridisciplinaire composé de quelques bénévoles ayant participé à la gestion de la crise de Lorca pendant les dix premiers jours a créé un outil (SGE 2.0)⁴⁵ capable de coordonner les tâches d'évaluation des risques et des dommages. Cet outil est capable de coordonner la population et les institutions, qui suite à une catastrophe, participent à la récupération de la ville. Comme indiqué sur le site internet de l'application (citation ci-dessous), une meilleure circulation de l'information ainsi

⁴⁴ « Pour les autres personnes, les ordres directs venaient de moi, il fallait s'occuper des personnes à main levée. C'est à dire, tu m'appelles, je suis là. Donc, nous nous sommes tous déployés ... Je veux dire, nous avons formés des groupes par zones, je ne sais pas si vous le savez, mais le centre historique de Lorca est assez problématique. »

⁴⁵ Emergence Management Solution

qu'une meilleure coordination entre différents services sont nécessaires afin d'utiliser efficacement toutes les ressources et moyens.

« Pese al gran trabajo de los Cuerpos de Seguridad del Estado y de Emergencias, que están muy preparados, a veces falla la coordinación y que los diferentes cuerpos compartan la misma información. En ocasiones, cada cuerpo actúa de manera unilateral sin un protocolo de actuación claro, lo que provoca que se infrutilicen los recursos »⁴⁶ (extrait du site : www.sge.com)

Cette application est une plateforme web (www.sge.com) avec une base de données géographiques de la ville. De plus, les utilisateurs de la plateforme, selon différentes restrictions d'accès, peuvent alimenter cette base de données. Ainsi dans un premier temps, elle sert de cadre organisationnel et permet d'avoir accès à un grand nombre d'informations qui peuvent aider à envisager les endroits plus vulnérables et qui peuvent avoir été le plus endommagés. La plateforme a donc une fonction d'aide à la décision. Ensuite, le système de transfert des données du terrain vers la base des données peut s'adapter à des scénarios où les réseaux électrique et/ou téléphonique sont interrompus. De la même manière, la plateforme permet de réaliser des exercices afin d'augmenter la résilience de la ville. Enfin, elle permet de réaliser des retours d'expérience de chaque événement, afin d'améliorer la gestion des risques. Pour décrire plus en détails les améliorations possibles du plan SISMIMUR mises en évidence sur le terrain, dans le paragraphe suivant, nous analysons de plus près cette intervention.

Nous connaissons maintenant le cadre sismologique, culturel et opérationnel dans lequel s'est déroulé l'événement. Nous avons présenté les conséquences sur les bâtiments et les principales raisons qui expliquent le nombre surprenant de dégâts provoqués par un séisme de faible magnitude. Nous avons exposé les détails de la chronologie de l'événement ainsi que les actions des services de sécurité. Ayant tous ces éléments en tête, nous entrons maintenant dans l'analyse de l'exposition humaine et le rôle de la mobilité dans « cette équation ».

⁴⁶ « Malgré l'excellent travail des services de sécurité nationale et d'urgence, qui sont hautement qualifiés, parfois la coordination échoue bien que les différents organismes partagent les mêmes informations. Parfois, chaque corps agit unilatéralement, sans protocole d'action clair, ce qui fait des moyens qui perdent en efficacité. »

**Troisième partie - Comportements
d'urgence : choix individuels sous
contraintes**

Chapitre 6 - Mobilité et exposition dans le temps

Notre travail attribue à la mobilité un rôle primordial pour expliquer la fluctuation de l'exposition humaine en période de crise sismique. Pour vérifier cette hypothèse, il nous paraît judicieux d'analyser cette mobilité en termes quantitatifs. Suite à la secousse principale, évacuer la ville a été la consigne des services de sécurité. Ainsi l'évacuation de la ville induit nécessairement une forte variation des trajets. Cette augmentation de la mobilité augmentera-t-elle l'exposition face aux chutes potentielles d'éléments de façade et à l'écroulement possible des bâtiments fragilisés devant lesquels les individus passent en se déplaçant ? Dans ce chapitre nous analysons de manière quantitative la mobilité des individus interviewés afin de répondre aux questions suivantes :

- La mobilité a-t-elle augmenté dans ce cas précis de crise sismique ?
- Les individus se sont-ils déplacés à la suite du premier séisme ? A la suite du deuxième, qui était plus important en intensité ?
- Quelle est la durée des trajets effectués ?
- A quel moment ces mobilités ont-elles été effectuées ?
- Par quels moyens de transport et avec qui ?
- Quelles activités réalisent les individus une fois arrivés à destination ?

Dans ce chapitre donc, la composante spatiale n'est pas prioritaire, l'analyse portant essentiellement sur la dimension temporelle. Les données analysées dans ce chapitre sont exclusivement issues des actogrammes. Après avoir répondu à ces questions, nous proposons cependant un modèle de mobilité en période de crise sismique qui permet de synthétiser et d'expliquer l'évolution de l'exposition humaine

définie à partir de la proximité des individus aux bâtiments. Cette modélisation permet ainsi de réintroduire le lien entre dimension temporelle et dimension spatiale.

6.1 Mobilité en période de crise sismique

Dans cette partie on va se centrer sur la mobilité tout en essayant de la quantifier et en analysant des paramètres temporels tels que le moment correspondant à la mise en mouvement, la durée de la mobilité, mais aussi d'autres comme les distances parcourues et le moyen de transport. Enfin, nous allons aussi analyser les accompagnants avec lesquels ces déplacements sont effectués et vers où se font les évacuations. En résumé, cette partie a un double objectif : d'un côté préciser la méthodologie d'analyse de la mobilité et des aspects liés à la mobilité en créant plusieurs indicateurs, et d'un autre faire une synthèse de la mobilité en période de crise sismique à Lorca.

6.1.1 Les individus se déplacent-ils en période de crise?

Les 20 individus enquêtés ont réalisé un total de 115 trajets, soit plus de 5 trajets par personne en moyenne pendant les 10 heures qui ont suivi la première secousse. Les individus ont réalisé de 1 à 11 trajets au maximum et 11 personnes ont fait moins de 5 trajets. Nous avons souhaité regarder à quel moment les trajets étaient réalisés pour chaque période entre les deux séismes, après la secousse principale ou dans la période d'évacuation définies précédemment. On observe que la plupart des itinéraires ont été effectués pendant la première et la deuxième période qui comptabilisent 33 et 39 trajets respectivement (Figure 36). Les 43 autres trajets ont été réalisés durant la troisième période qui est presque quatre fois plus longue. La question qui se pose par la suite est la suivante : 5 trajets par personne pendant 10 heures impliquent-ils une mobilité importante par rapport à une période « hors-crise » ?

Pour avoir une référence de la mobilité en période normale (ou hors crise) nous présentons quelques données de mobilité dans le territoire espagnol. La nature de ces données de mobilité à l'échelle nationale les rend difficilement comparables avec les nôtres, à cause de la disparité méthodologique relative au recueil. Cependant, notre objectif n'est pas de quantifier l'altération de la mobilité en période de crise sismique, mais de la comparer à nos observations (5 trajets par personne pendant 10 heures).

En 2007, selon le ministère chargé des transports en Espagne, le nombre moyen de déplacements réalisés chaque jour est de 2,8 considérant l'ensemble de la population (se déplaçant ou pas). Ce nombre augmente à 3,3 sur le total de la population mobile, celle qui réalise au moins un trajet par jour. Cette valeur est corrélée

positivement avec la taille de la ville, donc plus la ville est grande, plus le nombre de trajets réalisés par jour sera élevé. La ville de Lorca compte 90.000 habitants dont 60.000 résident dans le centre urbain, la zone la plus affectée lors du séisme et notre zone d'étude. Dans le contexte espagnol, elle peut être considérée comme une grande ville. L'Espagne est en effet formée par une grande quantité de petites villes : sur les 8 115 villes espagnoles, 72% présentent une population inférieure à 2.000 habitants.

La moyenne de 3,3 trajets par jour est calculée pour une journée de travail, et les trajets inférieurs à 5 minutes ne sont pas inclus. Ces constats nous font supposer qu'à Lorca, le nombre moyen de trajets quotidiens doit être supérieur à 3,3. Cependant, ce nombre de 3,3 déplacements par jour est calculé à partir d'une journée complète de 24 heures. Dans notre cas, nous travaillons seulement sur une durée de 10 heures ; on peut supposer que le nombre de trajets quotidiens diminuerait s'il était rapporté à une journée de 10 heures. Tout cela nous permet d'affirmer que, malgré la très grande hétérogénéité des données comparées, 5 à 6 trajets par individu sur 10 heures représente une mobilité légèrement supérieure par rapport à une situation normale.

Cette analyse nous permet de voir que chaque séisme provoque le déplacement simultané d'une grande partie des individus.

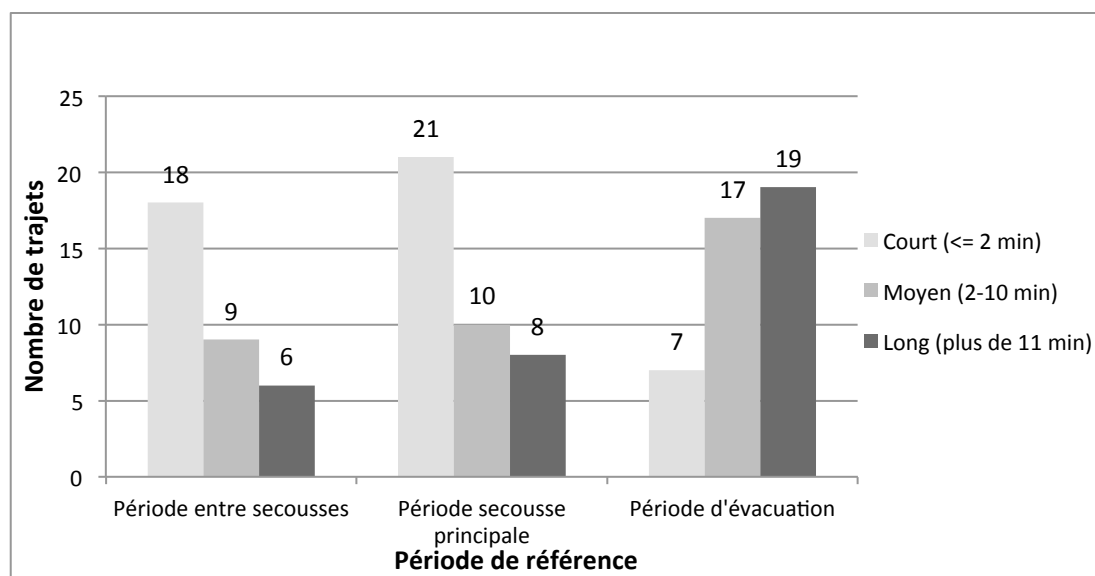


Figure 36. Durée des trajets individuels effectués pendant les périodes d'analyse définies.

La figure antérieure montre que l'évacuation de la ville ne se fait pas de manière immédiate après le deuxième séisme, ce qui est très important car cela implique que l'exposition de l'échantillon ne va pas décroître tout de suite (Figure 36). En outre, elle permet d'observer qu'un nombre très élevé de trajets ont un impact sur l'évolution

de l'exposition dans le temps. La configuration de trajets courts au début de l'évènement et trajets longs plutôt à la fin fait supposer que les trajets courts se déroulent près des habitations, à proximité des bâtiments. Ainsi, les trajets générateurs potentiels d'exposition sont plutôt les petits trajets. Pour la majorité des personnes enquêtées, il n'est pas possible de sortir de la ville en 2 minutes. Si c'était le cas, on n'observerait pas de trajets 8 et 9 heures après le deuxième tremblement étant donné que toutes les personnes auraient évacué la ville. Cependant, pour démontrer cela, il nous faut être plus fin en termes d'analyse spatio-temporelle. Auparavant, d'autres analyses vont compléter les informations sur les trajets comme par exemple les distances parcourues, les moyens de transport, les accompagnements pendant les trajets ou encore les activités réalisées lors des arrivées à destination.

6.1.2 La réaction immédiate : les pics de mobilité

Pour commencer, nous avons voulu représenter le nombre de personnes qui se déplacent de manière simultanée, en violet foncé (Figure 37). Chaque secousse, marquée par une flèche rouge, provoque un pic de mobilité important. L'échantillon réagit de manière claire aux secousses en réalisant des petits trajets. Nous observons cela grâce aux grands pics dans le graphique, visibles directement en-dessous des flèches oranges. Cette figure permet aussi de voir que l'évacuation de la ville ne se fait pas de manière immédiate ni de manière massive. Nous avons voulu comparer la réalité observée avec une évacuation hypothétique (certainement idéaliste), pour montrer la complexité du phénomène auquel nous allons faire face. Dans le cas hypothétique d'une évacuation massive immédiate, après la deuxième secousse, nous aurions pu observer que les 20 individus étaient en mouvement et au fur et à mesure de l'évacuation, les trajets auraient diminué jusqu'à ce que chacun d'eux ait quitté la ville (Figure 37). Or la mobilité observée est très différente et on peut s'interroger sur les raisons et situations qui expliquent ce phénomène.

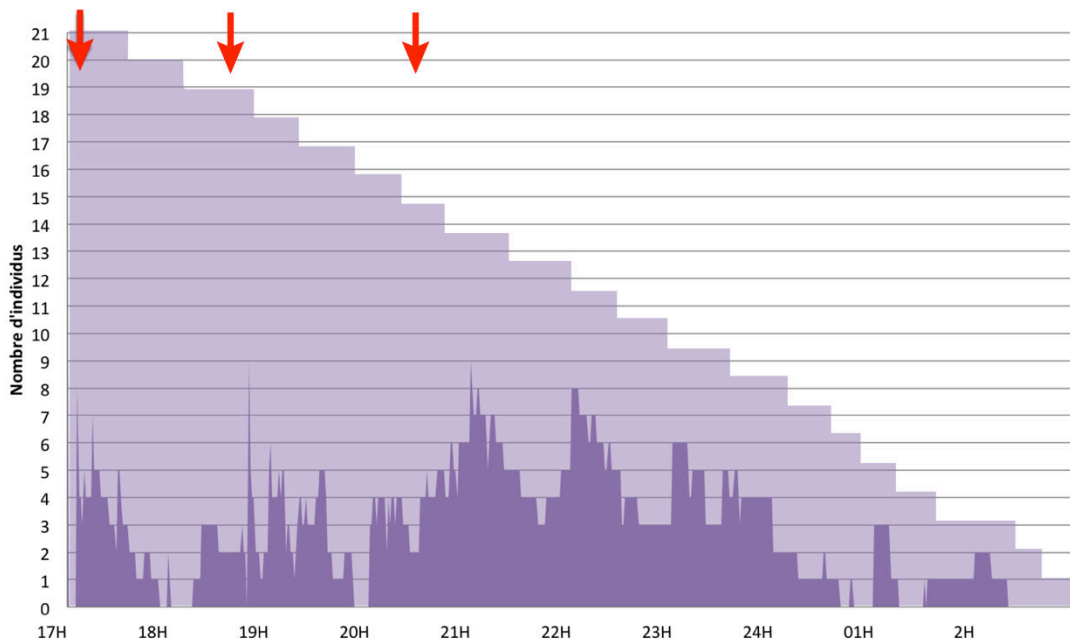


Figure 37. Comparaison de la situation réelle observée (violet foncé) et la situation hypothétique (violet clair) d'une évacuation massive (évolution du nombre d'individus en situation d'évacuation). Cette évacuation hypothétique se produirait dans le cas où toutes les personnes évacuaient la ville immédiatement après la première secousse. Les flèches en rouge indiquent le moment des premier et deuxième séismes ainsi qu'une réplique de Mv 3,9.

Sur la base de ce constat, nous proposons d'approfondir l'analyse du nombre de trajets effectués par les 20 individus, ainsi que leur durée. Dans aucun cas nous n'avons plus de 10 personnes qui sont en déplacement au même temps. Pour mieux comprendre ce qui se joue nous allons nous intéresser à la distance parcourue et au moyen de transport.

6.1.3 Distance parcourue et mode de transport

Pour l'interprétation de la mobilité post-crise, il est important de déterminer le moyen de transport utilisé pour situer les individus dans la ville. Des petits trajets (observés antérieurement) réalisés en voiture permettent de s'éloigner rapidement des bâtiments et donc des zones de danger. Comme le montre la (Figure 38), sur l'échantillon interrogé, la grande majorité des trajets, jusqu'à 3 heures après la secousse, s'effectuent à pied. C'est seulement à partir de 20H, que l'on observe une augmentation des trajets en voiture. On peut imaginer qu'ils servent à évacuer la ville. Cela paraît logique car après la seconde secousse les routes sont encombrées par les débris et certaines voitures sont endommagées.

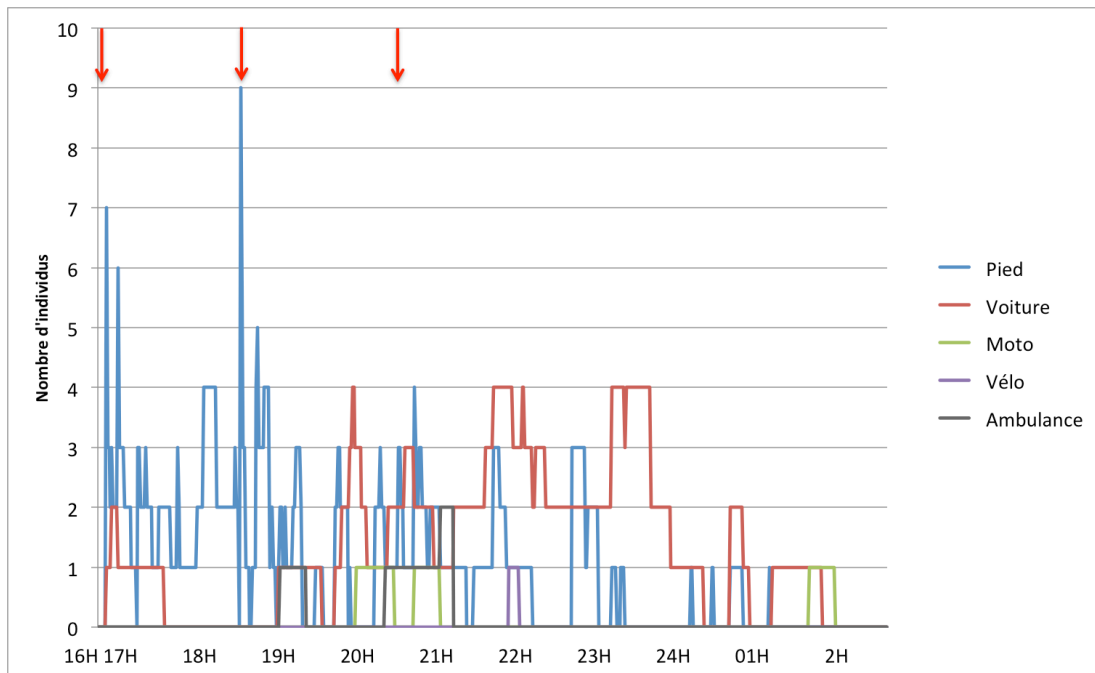


Figure 38. Mode de transport utilisé pour les déplacements de tous les individus enquêtés. Les flèches en rouge indiquent le moment des premiers et deuxième séismes ainsi qu'une réplique de Mv 3,9.

Les 20 individus interrogés ont réalisé au total presque 100 kilomètres dans la ville de Lorca avant d'évacuer, c'est-à-dire une moyenne de 5 kilomètres par personne. A noter que 11 individus n'ont pas réalisé un trajet de plus de 3 kilomètres ; un autre groupe de 6 personnes a effectué entre 4 et 8 kilomètres, et les trois derniers ont fait entre 10 et 18 kilomètres. Pour cette analyse nous excluons les trajets réalisés à l'extérieur de la ville car, comme nous l'avons avancé antérieurement, nous ne connaissons pas les itinéraires précis et, de plus, on estime que cela ne va pas altérer l'exposition individuelle étant donnée la forte concentration des dégâts au coeur la ville de Lorca.

En termes d'éloignement du danger, depuis n'importe quel lieu de la ville, il est possible d'en sortir en réalisant un maximum de 3 kilomètres même si normalement cette distance peut être réduite à 2 km. Le centre urbain de Lorca, donc la partie impactée par les secousses, s'étend sur 6 kilomètres de long par 3km dans sa partie la plus large. Cela nous confirme une fois de plus qu'avant d'évacuer, les personnes interrogées ont réalisé une multitude de trajets dans la ville qui ne vont pas permettre de réduire immédiatement l'exposition. Les personnes enquêtées se sont-elles déplacées seules ?

6.1.4 Avec qui se déplacent-ils?

Dans cette sous-section, nous analysons avec qui les individus se sont déplacés, ou sont restés à certains endroits précis. Dans les entretiens, nous avons constaté dans certains cas que la recherche de membres de la famille ou d'amis constituait un moteur de mobilité. Nous allons tester ici ce constat afin d'en déterminer son importance. L'échantillon de 20 personnes a été en contact avec 114 personnes différentes. Autrement dit, l'enquête fournit indirectement des informations concernant 114 personnes en plus des 20 témoins interviewées. Pour obtenir ce chiffre, nous avons additionné le nombre maximum d'accompagnants avec lesquels une personne enquêtée a été en contact, comme le montre la figure (Figure 39). Si par exemple un individu est dans un lieu avec 5 membres de sa famille et qu'ils n'ont jamais été plus de 5, nous allons garder cette valeur. Néanmoins si ensuite ils rejoignent une autre personne on va prendre comme référence 6 personnes. Cependant, si ultérieurement ces 6 personnes partent et la personne enquêtée entre en contact avec 5 nouvelles personnes on va garder comme référence le nombre 6 et non 11, qui correspondraient au nombre d'individus différents contactés. Nous avons procédé de cette manière car les données compilées ne nous permettent pas toujours de savoir avec qui exactement la personne interrogée se trouvait. Demander systématiquement quel était le lien social des personnes présentes aurait en effet considérablement ralenti et perturbé le fil du récit de l'interviewé.

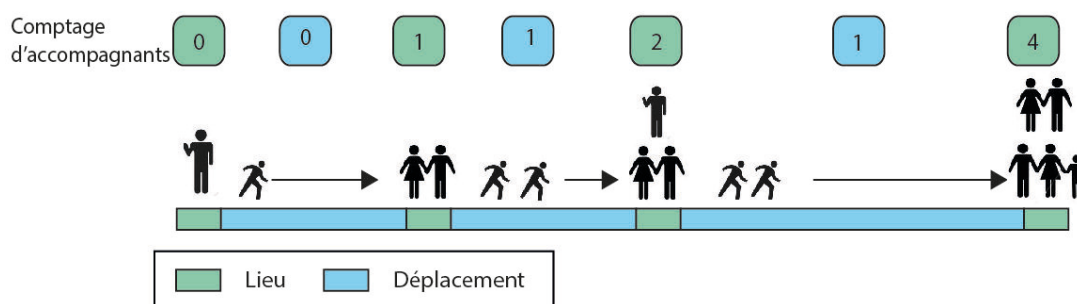


Figure 39. Exemple de méthodologie de comptage d'accompagnants. Le comptage se fait à chaque changement de situation, qu'il corresponde à un déplacement ou un arrêt en un lieu.

Si nous rentrons un peu plus dans les détails, la figure suivante donne une visualisation de la formation des groupes (Figure 40). Chaque série (donc chaque symbole) correspond à un des individus enquêtés. Le graphique illustre quel est le nombre d'accompagnants avec qui il se trouve à chaque moment précis de la période post-sismique. Ces moments correspondent à chaque changement de lieu ou à chaque trajet réalisé par l'individu. On observe que jusqu'à 21H30 les individus se concentrent

en majorité en groupes de 1 ou 2 personnes. A partir de cette heure, on remarque plutôt des groupes de 3 individus, la plupart du temps, des groupements de familles (Figure 40).

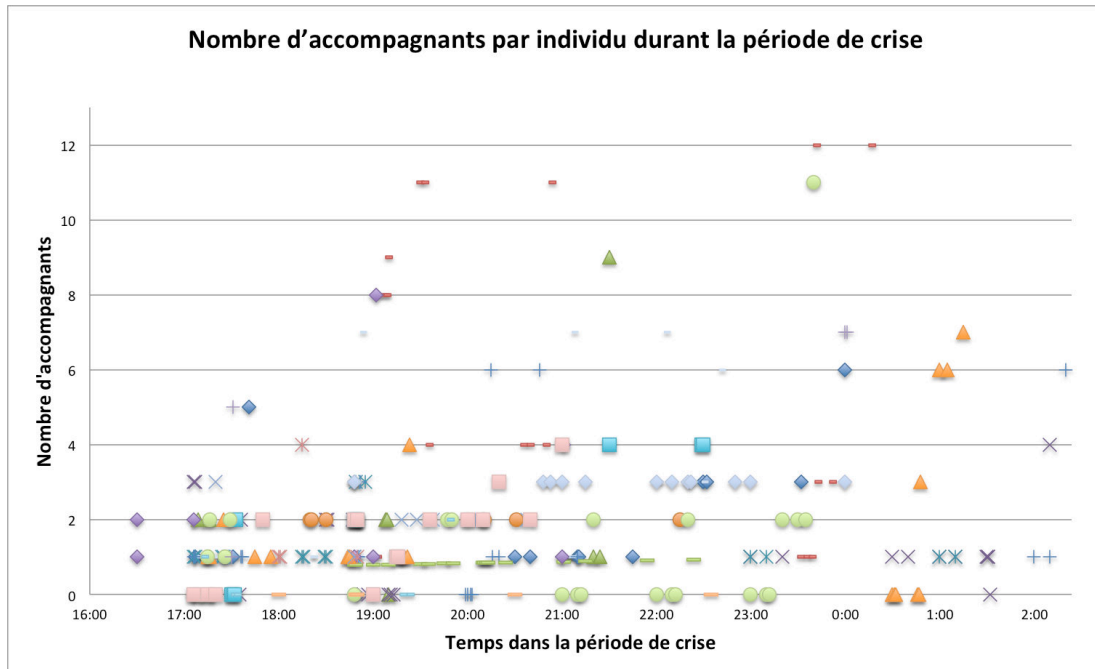


Figure 40. Evolution du nombre d'accompagnants par individu pendant la période de crise. Chaque type de symbole correspond à un individu différent. Chaque symbole nous montre à chaque lieu et déplacement différent le nombre d'accompagnants avec lesquels l'individu se trouve.

Les horaires sur l'axe des abscisses correspondent à la chronologie de l'événement. Ils ne permettent donc pas de comprendre si les regroupements se font aléatoirement pendant la période de crise ou s'il y a un processus de rassemblement lié à la temporalité de chaque individu. La figure suivante permet au contraire d'observer s'il y a une évolution du nombre d'accompagnants entre le début et la fin de la période de crise de manière individuelle (Figure 41). Par exemple, imaginons un individu qui, avant d'évacuer, retrouve sa famille (de 3 membres par exemple) vers 20H. Vers 20H10 ils évacuent et vont à la maison de leurs oncle/tante où ils se retrouvent avec eux. Finalement, vers 21H ils seront 9 personnes. Imaginons qu'un autre individu évacue à 23H, donc 2 heures plus tard, qu'il retrouve des amis et vont chez la famille de l'un d'entre eux. Dans les deux cas, ils constitueront deux groupes nombreux. L'idée de la méthodologie développée pour compter les accompagnants est de rendre possible la comparaison entre ces deux cas de figure. Dans les deux cas, les individus atteignent le dernier lieu à des horaires différents à la fin de la période de crise. Pour cette raison,

nous avons voulu rapporter tous les débuts et toutes les fins de mobilité relatives à chaque individu à la même valeur (0 et 1). De cette manière nous ne regardons pas les individus par rapport à l'ensemble de la temporalité de la crise mais, chaque individu par rapport à sa propre temporalité qui commence avec le premier séisme (moment identique quel que soit l'individu) et qui se termine la fin de l'événement, définie différemment pour chacun d'eux. La fin de l'évènement est définie juste après avoir réalisé son dernier déplacement, lorsque l'individu se trouve en sécurité après avoir évacué, hors de la ville ou dans des campements habités.

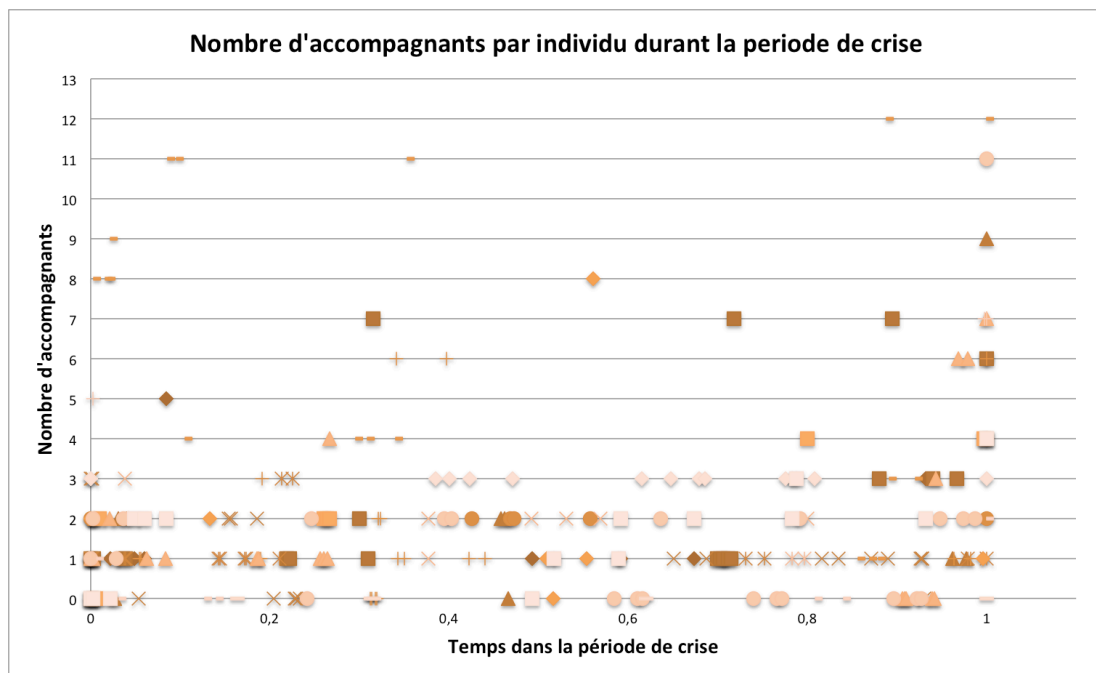


Figure 41. Evolution du nombre d'accompagnants par individu pendant le période de crise. En abscisse, le 0 correspond au début de la crise de chaque personne et 1 la fin de l'évènement.

On observe de manière générale une augmentation du nombre d'accompagnants à la fin de l'évènement pour tous les individus. Notre échantillon s'organise de telle manière qu'à la fin de « son évènement », il se retrouve souvent avec des amis, la famille ou d'autres familles.

Un facteur explicatif de ce phénomène se trouve dans la configuration de la ville de Lorca. La ville est en effet entourée de terrains agricoles dans lesquelles se trouvent de nombreuses propriétés appartenant aux parents ou grands-parents des familles qui habitent en ville. Cela fait qu'une grande partie de la population possède soit une maison secondaire, soit des amis ou de la famille à proximité de la ville. Cette caractéristique de Lorca a facilité énormément l'évacuation de la population, la majorité d'entre elle ayant pu dormir en sécurité sans aller extrêmement loin. Comme nous allons

le montrer par la suite, cette tendance observée dans notre petit échantillon peut se généraliser en regardant d'autres données existantes.

6.1.5 Evacuer la ville, pour aller où ?

La première nuit, environ 60 000 personnes n'ont pas dormi chez elles (Santamaría, López, et Alguacil 2012). Trois campements ont été installés dans la ville près des quartiers les plus touchés. Le plus grand campement, celui « del Huerto de la Rueda », avait une capacité de 4 000 personnes. A 01H44 le 12 mai, 10 000 personnes se trouvaient dans les 3 campements. Cela signifie que 50 000 ont eu la possibilité d'évacuer la ville et de s'abriter, se réfugier chez des amis ou dans leur famille à proximité de Lorca. Les résidences secondaires ont aussi constitué un lieu privilégié pour passer cette première nuit et se réconforter en famille ou entre amis (González López 2012). Cependant une autre partie de la population a passé cette première nuit dans leur voiture sur les bords des routes proches de Lorca. Par ailleurs, les campements du premier jour disent avoir accueilli presque exclusivement une population d'origine étrangère. Les étrangers, même installés depuis longtemps à Lorca, ont un réseau familial et/ou amical moins développé par rapport aux locaux, et peuvent avoir moins de solutions d'accueil.

Parmi les 3 individus étrangers interrogés dans notre échantillon, l'un a dormi dans une voiture et les deux autres dans des campements. En résumé, sur notre échantillon, 15 personnes ont évacué et 5 sont restés dans la ville. Parmi ces 15, 14 ont dormi à l'extérieur du centre urbain de Lorca dans leur famille, ou chez des amis, le 15^e est l'étranger qui a dormi dans sa voiture à 6 kilomètres de Lorca (Tableau 6). Parmi les 5 qui sont restés en ville, deux (d'origine étrangère) ont rejoint un campement, une autre a dormi à l'intérieur de son appartement volontairement, craignant des vols dans la copropriété dans laquelle elle possédait beaucoup d'appartements. Enfin les deux derniers (des personnes âgées) ont dormi dans leurs logements, des maisons basses de Lorca, accompagnées par les membres de leur famille. Dans le tableau suivant nous détaillons les destinations choisies, en séparant les localités situées à l'extérieur de Lorca, dans le canton de Lorca et enfin les individus qui n'ont pas évacué (Tableau 6).

Localité d'évacuation	Nb d'individus	Distance à Lorca (km)	Temps de trajet en voiture selon Google Maps (min)
Yecla	1	165	128
Murcia (Hospital Arrixaca)	1	65	54
Aguilas (Calabardina)	1	46	46
Aguilas	2	36	32
Puerto Lumbreras	2	18	18
Lorca (districts)			
Totana (Tercia)	2	16	27
Campillo	1	10	11
Purias	2	17	18
Route d'Aguilas	1	6	9
Sant Jose Este	1	2	6
Sutullena	1	2	5
Non évacuation	5	0	0

Tableau 6. Synthèse des destinations choisies par les personnes évacuées. En orange les destinations situées à l'extérieur de la ville, en bleu les destinations situées dans le canton de Lorca, et en vert les individus qui n'ont pas évacué.

Parmi les personnes évacuées, celui qui a décidé d'aller le plus loin s'est rendu à Yecla, à 165 kilomètres au nord-est de Lorca. Il faut signaler que cette personne travaille là-bas et donc est très habituée à faire le trajet. Une autre personne a été amenée jusqu'à Murcia en ambulance à cause d'un grave traumatisme crânien. Etant donné que l'hôpital de Lorca présentait des dommages très importants, les blessés graves ont été conduits dans les établissements de santé de la capitale régionale, Murcia. A part ces deux cas particuliers, toutes les personnes enquêtées sont restées dans un rayon de 50 kilomètres autour de Lorca et dans la plupart des cas dans le sud de la ville (Figure 42). La plupart des évacuées (9 personnes) sont d'ailleurs restées dans le canton même de Lorca. Comme nous pouvons l'observer, le canton de Lorca est très grand et est formé de 39 districts, certains étant situés à 40 kilomètres de la ville. Deux personnes ont évacué à seulement 2 kilomètres de Lorca, ce qui illustre que le séisme a été vraiment concentré au centre urbain.

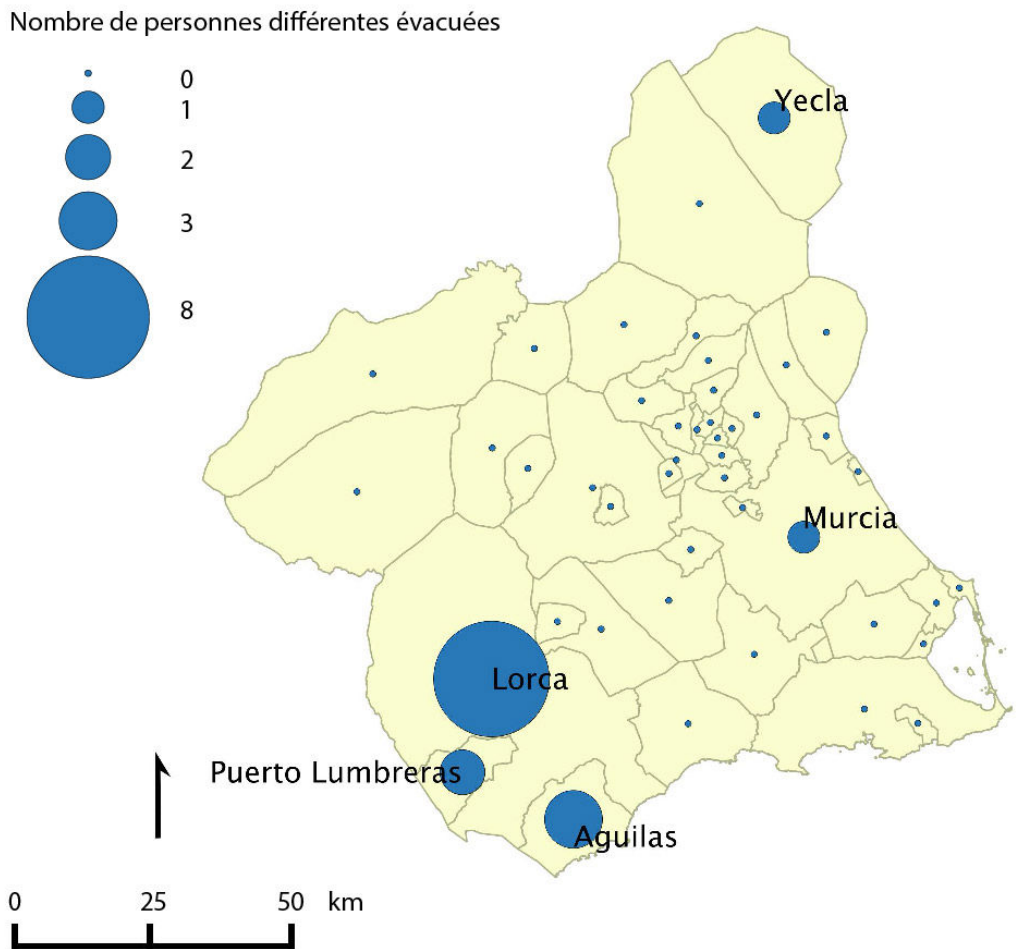


Figure 42. Communes choisies par les personnes évacuées suite au tremblement de terre. Source fond carte: IGN

Nous pouvons conclure que la population en général ainsi que notre échantillon a eu tendance à se regrouper en famille ou entre amis. Ces regroupements se sont principalement concrétisés à proximité de Lorca. Cette envie de se regrouper peut être considérée comme un élément qui augmente le temps d'organisation et donc par conséquent prolonge le temps passé dans la ville. Toujours pour essayer de comprendre pour quelles raisons les individus décident de se déplacer, nous analysons par la suite ce qu'ils font suite à un déplacement.

6.2 Se déplacer et agir : un même but, se mettre en sécurité

Nous inspirant des analyses de mobilité issues de la Time Geography, nous avons étudié les activités réalisées par les individus en les associant aux différents lieux

fréquentés et aux déplacements induits. A partir d'une typologie établie pour l'étude des comportements en cas de crues rapides, et toujours en s'appuyant sur les informations fournies par les récits des personnes enquêtées, nous avons distingué cinq catégories d'activités (Ruin et al. 2008; Creutin et al. 2009) : activités liées à la récupération à la suite de la première secousse, information, organisation, protection et évacuation. Nous proposons ici de décrire ces catégories d'activités adaptées spécifiquement à la situation de crise sismique.

Récupération : quelle que soit la situation imposée par l'événement sismique, la personne estime que le pic de danger n'a pas été atteint (ou est passé), et qu'il peut faire le nécessaire pour poursuivre (retourner) à ses activités normales. Par exemple, ramasser des objets tombés après la première secousse, ou continuer la même activité (comme poursuivre sa sieste pour reprendre l'un des exemples caractéristiques pris dans notre échantillon).

Ces activités sont directement liées à l'événement : le fait de ramasser les objets tombés à terre n'aurait pas été nécessaire sans un séisme, donc n'est pas une situation normale. Quarantelli emploie le terme de « *recovery* » (Quarantelli 1999). D'après son analyse, ce mot suggère la tentative de remettre la situation post-catastrophe à un certain niveau d'acceptabilité. Il fait référence au fait de rendre possible le retour à la situation antérieure à la catastrophe ou à un niveau adéquat pour poursuivre son activité usuelle. Nous avons hésité à utiliser le concept de « retour à la normale » à la place de « récupération » car dans certains entretiens, il s'agit plutôt de cela. La récupération implique de réaliser quelques actions pour retourner à la normale, mais dans certains cas, ces actions sont presque imperceptibles. Par exemple, ramasser les objets tombés est plus proche du concept de récupération, par contre refermer les yeux et continuer à faire la sieste ne suppose pas de réaliser des actions pour récupérer. Cependant, ces cas sont minoritaires et la plupart du temps les témoins réalisent certaines actions, si petite soit-elle, ce qui explique notre choix du terme de récupération. Il faut cependant signaler une différence importante. Dans l'utilisation qu'en fait Quarantelli, la récupération concerne la période qui suit l'événement. Dans le cas de Lorca, et pour ce qui concerne les individus interrogés, ce type d'activité intervient seulement dans la période entre les deux séismes, puis beaucoup plus tard, lorsqu'un retour sur la ville devient possible.

Information : ici le sujet réalise une tâche de collecte ou de divulgation d'informations sur l'événement. Les informations peuvent être entrantes ou sortantes : les premières sont celles que l'individu reçoit; les informations sortantes sont celles qu'il donne. Nous ne différencions pas les moyens d'information (par contact direct, par téléphone, par radio ou TV, etc.), les considérant tous de la même manière.

Organisation : l'organisation concerne tout ce que l'individu fait dans un lieu pour améliorer son confort ou le confort des autres et répondre de manière appropriée à la situation (par exemple aller chercher des couvertures ou des aliments, rassembler les documents importants). Est également considéré comme organisation le fait qu'un

individu aille chercher quelqu'un ou en rejoindre un autre, qu'il retourne chez lui pour récupérer les clefs de sa voiture pour évacuer.

Protection : la protection fait référence à une activité réalisée par l'individu afin d'améliorer sa sécurité, celle des autres ou de ses biens. Il est intéressant de signaler que toute action de protection n'entraîne pas nécessairement une diminution de l'exposition. Par exemple, un individu qui essaye d'aider un proche peut s'exposer plus qu'il ne l'était auparavant. Cependant, dans la plupart des cas, la protection va entraîner une réduction de l'exposition par l'application des consignes de sécurité et le déplacement vers un espace ouvert ou un campement.

Evacuation : étant donné le caractère très localisée du séisme, nous avons distingué la catégorie évacuation qui, dans le cas des crues rapides, est associé à la protection. L'évacuation consiste à sortir à l'extérieur des frontières de la zone impactée pour s'éloigner de tout danger. Sortir du bâtiment pour aller dans la rue est considéré comme une action de protection, l'évacuation étant réservée au départ hors de la zone impactée (vers les campements ou vers l'extérieur de la ville).

6.2.1 Evolution des activités dans le temps

Les 20 individus interrogés ont réalisé au total 229 activités que l'on représente dans le temps en fonction des trois périodes. Chaque personne a accompli en moyenne entre 11 et 12 activités. La raison pour laquelle nous avons un nombre aussi élevé d'activités est liée au nombre de lieux (135). Étant donné que tous les individus terminent leurs déplacements en un endroit, les 135 lieux correspondent aux 115 trajets ajoutés aux 20 lieux finaux. En moyenne à chaque lieu, les individus réalisent entre 1 et 2 activités. Comment attribue-t-on les activités réalisées en chaque lieu ?

Seules les activités différentes réalisées en un lieu sont conservées. Autrement dit, si la personne, depuis chez elle, appelle son père afin de vérifier son état de santé (information) et ensuite allume la télé pour savoir ce qui s'est passé (information), on considère une seule activité d'information pour ces deux actions.

Dans la période entre les deux secousses et la période d'évacuation, les individus réalisent 30% des activités, alors qu'ils effectuent presque 40% du total des activités après la secousse principale. Il est intéressant de rappeler que la période d'évacuation est beaucoup plus longue. Il y a moins d'activités par pas de temps. Quelles sont ces activités ?

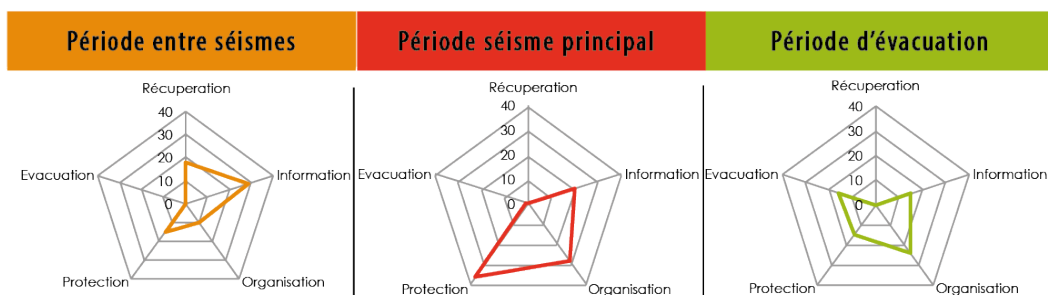


Figure 43. Nombre d'activités réalisées pendant les périodes définies. Chaque graphique radar est construit en prenant comme référence les trois périodes.

Période entre séismes

Durant la première période (entre les deux séismes), on décompte 72 activités différentes. La personne qui en réalise le plus en fait 7 et celle qui en fait le moins en réalise une seule. Le nombre d'activités le plus fréquent est de 4, réalisées par 6 personnes.

Suite au premier séisme, l'information apparaît comme l'activité dominante. L'objectif principal semble être de se faire une idée sur l'événement : que s'est-il passé, quels sont les dégâts causés et que sait-on des possibles répliques ? Tels sont les principaux sujets des informations qui circulent. Dans les situations de crise collective, même si ce n'est pas aussi généralisé que pendant la première période, certaines des informations échangées n'ont pas pour fonction la transmission des connaissances mais visent plutôt à partager et libérer la peur et le stress. Quelques-unes de ces informations pourront même donner lieu à des rumeurs et avoir des conséquences néfastes pour la population. Ces rumeurs augmentent la peur des individus et peuvent entraîner des situations de panique collective (Páez et al. 2001).

Dans l'un des entretiens, une infirmière de 54 ans nous a expliqué ce que son père et elle ont décidé de faire une fois arrivés dans un espace ouvert où ils se sentaient en sécurité. Arrivés sur la place, ils ont décidé qu'ils n'allaient plus bouger car, selon elle, les gens qui avaient une radio disaient qu'il y aurait des répliques plus fortes et donc ils se sont mis à paniquer. Il est intéressant de noter la radio constitue ici une source d'information fiable qui peut influencer les comportements.

« Y de ahí ya no nos movíamos, porque la gente que tenían radio decían que iban a haber mas réplicas mas fuertes entonces teníamos pánico »⁴⁷

Cette rumeur concernant les répliques s'est amplifiée par la suite. En effet, l'infirmière interrogée a affirmé qu'après la première secousse, les services de Protection Civile l'avaient informée que vers 19H un autre séisme de magnitude important frapperait la ville. Selon une enquête réalisée après le séisme auprès de la population de Lorca, déjà citée précédemment, le 34 % de l'échantillon (627 personnes) ont cru que cette rumeur était fautive (Alfaro et al. 2011). Indépendamment du fait qu'elle soit vraie ou non, il est certain que cette rumeur a existé et selon l'enquête elle a été considérée comme véridique par la majeure partie de la population.

Au-delà des rumeurs, plusieurs individus ont également eu besoin d'avoir des nouvelles de leur famille. Le fait d'appeler les grands-parents ou conjoint devient alors une priorité dans cette première phase de l'événement.

Par ailleurs, comme évoqué précédemment, on observe plusieurs personnes entrer dans une phase de récupération juste après cette première secousse. Elles n'ont pas estimé que le premier séisme avait été d'ampleur significative même si, dans la plupart des cas, elles ont affirmé qu'il avait été plus fort que la plupart des séismes vécus auparavant. Selon une personne interviewée de 24 ans (cf. citation ci-dessous), les habitants de Lorca sont habitués aux séismes mais la première secousse était déjà forte par rapport aux séismes ressentis antérieurement.

« Nosotros de siempre hemos sentido algún movimiento, o sea, que no es nuevo, lo que pasa es que fue fuertecito comparado con lo que tú habías notado otras veces »⁴⁸

Pour d'autres, le séisme leur a paru très fort et ils ont réellement paniqué. Dans la citation suivante, cette femme de 35 ans indique en premier lieu qu'ils sont habitués à ressentir des tremblements de terre. Elle allait juste ouvrir son commerce (une grande droguerie) au moment du premier séisme, ce qui a généré chez elle un petit état de panique. En conséquence, elle est sortie en courant et est allée chercher son frère qui se trouvait dans le même bâtiment mais quelques étages plus hauts. Dans son récit, nous observons d'un côté la peur du moment de la secousse, mais aussi le fait qu'elle arrive à relativiser assez rapidement. Elle est en effet retournée dans son commerce pour ramasser les objets tombés afin de pouvoir ouvrir son magasin. A titre d'information, lors du deuxième séisme, la panique a été si intense qu'elle est restée complètement

⁴⁷ « Dès lors, nous ne bougions plus, parce que les gens qui avaient la radio disaient qu'il y allait avoir d'autres répliques, plus fortes, alors nous étions paniqués. »

⁴⁸ « Nous, depuis toujours, nous avons senti du mouvement, c'est à dire, ce n'est pas nouveau, ce qui ce passe c'est que cette fois, ça a été plus fort que ce que l'on avait pu ressentir d'autres fois. »

lors du deuxième séisme, la panique a été si intense qu'elle est restée complètement bloquée, ne pouvant plus bouger et elle a été secourue par ses frères qui l'ont sortie de la droguerie.

«Eh, yo al principio aquí estamos acostumbrados a notar temblores, y pero claro con eso de que se mueve, yo claro al ver la estantería moverse y todo eso, yo enseguida me puse muy nerviosa y fui a buscar a mis hermanos. ¡Dios mío! ¡Dios mío! y cuando ya bajaron y vieron que estaba todo eso, ya se habían caído un montón de cosas que es la estantería y todo. Y como no estaba mi padre, pues me puse histérica a llamarlo. Que se ha caído todo, que se ha caído toda la tienda, ¡Dios mío! Que es un terremoto grande y veía gente nerviosa en la calle ya, pero ya te digo, lo relacionas un poco y bueno, tranquilízate un poco pues era un poco más grande que otras veces, pero bueno, que ya está, nada »⁴⁹

Dans un dernier exemple, ce père de famille de 42 ans a vécu la première secousse dans son domicile et par la suite a continué son plan d'activités normal avec sa famille.

« ...luego ya cuando mas o menos se tranquilizaron, pues mi hijo y yo nos fuimos para la piscina hacer sus actividades ... »⁵⁰

En résumé, entre les deux secousses, tous les individus ont été surpris par la force du premier séisme et la moitié d'entre eux ont réalisé une activité associée à la protection, surtout immédiatement après la secousse. Ensuite, le nombre d'activités liées à la demande et divulgation des informations (parmi lesquelles il y a des rumeurs) a explosé. Certains ont alors décidé de prolonger leur mise en protection ou bien de protéger les membres de leur famille en restant avec eux ou en allant les rejoindre. Parfois, la mise en protection a consisté à sortir de leur maison en allant sur la voie publique. D'autres (12 individus) ont fait le nécessaire pour revenir à l'état antérieur à la secousse, soit en continuant les activités antérieures soit en réparant les dégâts légers dus à la secousse. Si certains ont adapté leurs activités quotidiennes pour réduire leur exposition, aucun des individus interrogés n'a envisagé dans cette phase quitter la ville.

⁴⁹ « Ici nous sommes habitués à sentir des tremblements, mais quand j'ai vu les rayons de la boutique bouger, je suis devenue très nerveuse, je suis allée chercher mes frères. Mon dieu, mon dieu, quand ils sont descendus il y avait déjà plein de choses de la boutique qui étaient tombées. Mon père n'était pas là et je suis devenue hystérique, je l'appelais. Tout est tombé, toute la boutique est tombée ! Mon dieu! C'était un gros tremblement de terre, je voyais des gens agités dans la rue, j'ai essayé de me calmer un peu en me disant, que ce n'était rien de plus qu'un tremblement de terre un peu plus gros que d'habitude, rien de plus. »

⁵⁰ « Ensuite, quand tout cela était plus ou moins calmé, mon fils et moi sommes allés à la piscines pour ses activités. »

Période du séisme principal

Durant la période qui a suivi le séisme principal, 14 personnes ont réalisé 5 activités au maximum. Par contre, les 6 restants ont réalisé entre 6 et 13 activités. Cela signifie qu'un groupe de 6 personnes a effectué plus de la moitié du total des activités recensées durant cette période. Nous observons un grand nombre d'activités en lien avec la protection (37), donc en moyenne, deux activités de ce type par individu pour un total de 87 activités (Figure 43 – p 133). Ceci correspond à la fréquence la plus élevée pour une activité, au cours des trois périodes. Cependant nous observons une très grande variabilité d'un individu à l'autre (minimum 1, maximum 6). Ce constat nous conforte dans l'idée que la mise en protection personnelle et/ou familiale est un processus complexe et se fait par phases.

Les activités liées à l'information sont moins nombreuses que dans la période précédente mais restent importantes. En effet, suite à la secousse, la plupart des personnes interrogées ont cru que le tremblement avait frappé au moins toute la région et n'imaginait pas que l'épicentre du séisme était localisé dans la ville de Lorca même, là où ils se trouvaient. C'est pourquoi, plusieurs individus ont ressenti le besoin d'appeler leur famille pour avoir de leurs nouvelles. La recherche d'informations par radio a été très fréquente, or pour le reste du pays les habitants de Lorca étaient justement les mieux informés de ce qui s'était réellement passé. Une fois avertis du fait que le séisme avait été localisé à Lorca, le besoin suivant a été de rassurer les proches qui habitaient en dehors de la ville.

Durant cette période, les activités liées à l'organisation ont été trois fois plus nombreuses que dans la période précédente. Par contre, aucun des individus interrogés n'a réalisé d'activités de récupération, preuve que le séisme a été suffisamment violent pour que tout le monde se sente en période de crise. Pour autant, seulement une personne (un prêtre) a évacué à la fin de cette période.

La période d'évacuation

Enfin, durant la dernière phase étudiée, nous comptabilisons 16 activités liées à l'évacuation. Il faut cependant noter que deux individus ont évacué deux fois. L'un d'eux est retourné à Lorca afin d'apporter de l'aide dans un campement. L'autre (d'origine étrangère) est retourné dans son immeuble avec l'intention d'y rester. Quelques minutes après y être entré, il y a eu une réplique de Mv 3,9 vers 20H30. Il est ressorti immédiatement du bâtiment en courant, très apeuré. En enlevant ces doubles évacuations, on comptabilise donc dans cette période 14 personnes qui ont évacué. La moitié des individus n'ont réalisé aucune activité en relation avec la protection, alors que pendant la période antérieure, 3 avaient été enregistrées. Cela signifie que nous ne

sommes plus dans une période de mise en protection, mais plutôt d'organisation et d'évacuation.

6.2.2 Les individus qui réalisent le plus d'activités

Nous avons essayé de comprendre pour quelles raisons certains individus avaient réalisé beaucoup d'activités et d'autres beaucoup moins et comment cela pouvait influencer sur la mobilité et l'exposition humaine. Pour cela, nous avons comparé les graphiques radars individuels réalisés pour l'ensemble de l'évènement. Dans ces radars (Figure 44), nous observons le nombre d'activités réalisées par chaque individu depuis le premier séisme jusqu'à la fin de l'évènement. Ensuite, nous avons séparé tous les radars en deux grands groupes, en fonction du nombre total d'activités réalisées. Enfin, nous avons essayé de comprendre quelles étaient les caractéristiques propres à chaque groupe.

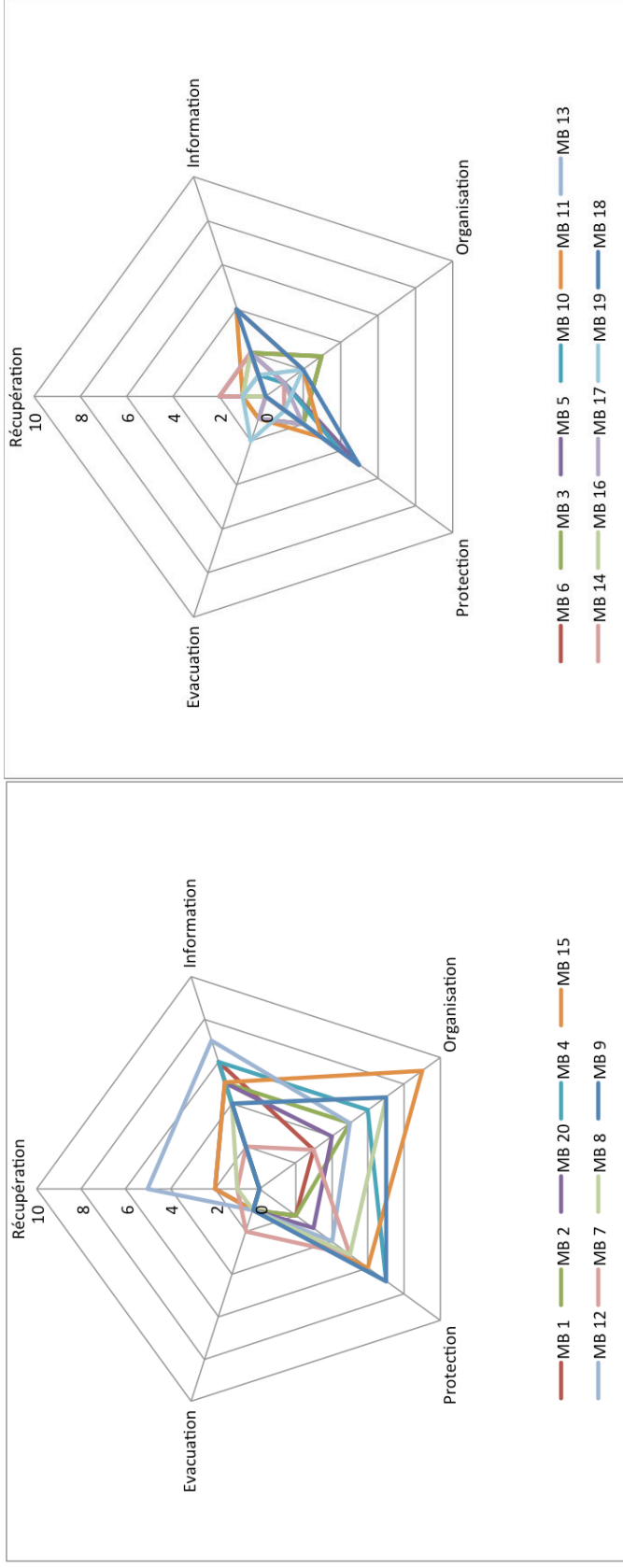


Figure 44. Comparaison de deux groupes d'individus en fonction du nombre d'activités réalisées pendant toute la période de crise. A gauche, les 9 individus qui ont réalisé le plus grand nombre d'activités (actifs) et à droite les 11 restants avec un nombre d'activités inférieur (inactifs). (N=20)

Le premier groupe est constitué de 9 individus qui cumulent 150 activités (soit près de 17 en moyenne par individu). Afin de simplifier la lecture nous allons appeler ce groupe « les actifs ». Le deuxième groupe, intitulé « inactifs », est formé par 11 personnes qui cumulent 79 activités (soit à peine plus de 7 par individu en moyenne). Cela suppose que les plus actifs effectuent en moyenne quasiment 10 activités par personne de plus que l'autre groupe, donc plus du double.

Les actifs :

Dans ce groupe de 9 personnes, toutes partent de la ville en se regroupant auparavant avec des membres de leur famille ou avec des amis. Cela explique probablement que l'on compte un plus grand nombre d'activités liées à l'organisation. Trouver un point de rendez-vous et rendre possible un départ ensemble augmente le nombre d'activités d'information et d'organisation. Lorsqu'on ordonne les 15 individus qui évacuent en fonction de l'heure de leur évacuation, les 7 personnes qui partent le plus tard (à partir de 22H40) se trouvent aussi dans cette catégorie des actifs. Parmi ces neuf personnes, sept ont des personnes à charge. Enfin, nous trouvons aussi deux individus qui, même si elles n'ont pas de personnes à charge, ont des responsabilités publiques au sein de la ville. Plus précisément l'une est l'adjointe du chef de l'opposition municipale et son objectif est d'aider à l'organisation des campements. L'autre personne est membre des scouts et bénévole dans un des campements pour les évacués. Ainsi, elles vont donc réaliser plusieurs activités non seulement pour elles-mêmes, mais aussi pour aider les autres, ce qui va retarder leur départ et augmenter le temps qu'elles passent dans la ville, donc dans la zone de dangers.

Les inactifs

Les cinq individus qui n'évacuent pas se trouvent toutes dans le groupe des inactifs. Ce groupe compte par ailleurs cinq individus avec des personnes à charge et parmi ces derniers, deux restent dans la ville (un par choix et l'autre par manque d'alternatives). Parmi les trois individus qui évacuent avec des personnes à charge, il faut préciser que ces personnes sont à mobilité réduite. Cela entraîne une limitation importante de leurs activités et donc de leurs trajets. Leur priorité est de prendre soin de cette autre personne vulnérable pendant la période de crise. Les témoignages laissent supposer que, si l'on analysait plus dans les détails le fonctionnement de ces familles on pourrait observer que les tâches d'organisation et d'information préalable à l'évacuation sont réalisées par d'autres membres de la famille. Cependant nous n'avons pas les données nécessaires pour le démontrer ici.

Les inactifs présentent une plus grande hétérogénéité entre les personnes ou situations auxquelles elles ont dû faire face. Par exemple, on trouve d'un côté toutes les

personnes qui n'évacuent pas, fait inhabituel par rapport à l'ensemble de la population. Parmi les six personnes qui évacuent, on trouve le prêtre de Lorca qui n'a pas de famille et donc qui peut évacuer rapidement. Il y a également la personne qui a été gravement blessée et qui est évacuée rapidement dans une ambulance, un Equatorien qui n'a pas de famille à Lorca, deux personnes avec des grands-parents, avec une mobilité très réduite et finalement le père d'une famille qui décide de rester dans un espace ouvert sans bouger jusqu'à ce qu'une grande partie de la population ait évacué.

Il apparaît donc que de manière générale les familles qui veulent se retrouver, s'organiser et évacuer ensemble vont évacuer plus tard et vont réaliser un plus grand nombre d'activités, et notamment plus de trajets. Par ailleurs, ceux qui ont des personnes vulnérables à charge et qui décident de s'en occuper, ou qui ont été blessés lors de la secousse, ne vont pas avoir le temps ou la possibilité technique de se déplacer et vont investir moins de temps pour s'organiser et évacuer. A l'inverse, les personnes qui n'ont aucune personne à charge, si elles n'ont par ailleurs pas un rôle d'aide à la population, vont s'organiser et évacuer très rapidement.

On voit donc que la période de crise génère une augmentation de la mobilité. Nous allons maintenant essayer de connaître l'exposition humaine relative à la mobilité ou au contraire à l'immobilité caractéristiques des différentes phases de l'événement.

6.3 L'évolution de l'exposition individuelle dans le temps

L'approche proposée ici vise à définir quatre catégories de situations correspondant à une exposition différente pour comprendre l'évolution de l'exposition individuelle dans le temps. Ces catégories de situations ne sont pas associées à des lieux précis mais plutôt à certaines caractéristiques des lieux, en fonction des sources de dangers. Nous procédons donc à un processus « d'aspatialisation » : les différents lieux ne sont pas définis par des coordonnées géographiques mais par les caractéristiques d'exposition qui s'y rattache. L'idée est donc de modéliser l'évolution temporelle de l'exposition humaine de manière indirecte, en observant la localisation des personnes dans ces situations spécifiques. Pour ce faire, nous avons considéré les quatre catégories de situation suivante : à l'intérieur des bâtiments, sur la voie publique, en espace ouvert et hors Lorca. Ces catégories spatiales nous permettent d'appréhender les dangers auxquels les individus s'exposent lors de leurs activités ou de leurs déplacements. Un extrait de l'actogramme généré se trouve à la fin du chapitre antérieur (Figure 14 - p 71).

6.3.1 Définition de la typologie des situations d'exposition

Nous explicitons ici les quatre catégories de situations considérées. Le but dans cette section est d'avoir une vision d'ensemble du déroulement de l'évènement à travers le comportement de l'échantillon interrogé et d'identifier les situations collectives qui peuvent provoquer une fluctuation de l'exposition humaine.

Intérieur

Etre à l'intérieur signifie être entouré par des murs (Figure 46).

Cette catégorie est associée plutôt à des lieux qu'à des déplacements. Les trajets au sein même des bâtiments ne sont en effet pas pris en compte. Quelle est l'exposition inhérente à cette catégorie? Cette catégorie est bien identifiée par la littérature, notamment par l'ouvrage de Coburn et al dans lequel les causes de mortalité provoquée par les séismes sont détaillées (Coburn, Spence, et Pomonis 1992). Cette étude indique que 75% des décès lors des séismes entre 1900 et 1992 sont causées par l'effondrement des structures. En effet, une des premières images qui vient à l'esprit quand on parle de séismes est celle des bâtiments écroulés et des personnes ensevelies sous les débris. Cependant, dans le cas de Lorca, seul un bâtiment s'est écroulé, ne causant aucun mort à l'intérieur, alors que deux personnes qui se trouvaient à l'extérieur du bâtiment ont été tuées. Même si ces dangers sont déjà bien référencés dans la littérature, nous les résumons en les appliquant au cas de Lorca, afin de caractériser l'exposition associée à cette catégorie.

Selon le chef des pompiers de Lorca suite au deuxième séisme, trois équipes de pompiers chargés exclusivement de veiller à la prévention et au contrôle des fuites de gaz et d'eau ont été créées. Les fuites de gaz et d'eau constituent l'une des préoccupations majeures dans ces situations car elles peuvent provoquer des explosions et des incendies. Même si le réseau de gaz avait été coupé, il continuait de circuler dans les conduites et des fuites étaient encore possibles. Une autre source possible d'incendies peut venir du fait que les individus sortent du bâtiment de manière précipitée à la suite de la secousse et oublient parfois de sécuriser l'endroit en laissant le feu d'une cuisinière à gaz par exemple. Selon ce que nous a expliqué le Responsable de la Protection Civile, cela s'est produit dans un « fast food ». Lorsque lui et un membre de son équipe sont arrivés sur place, Les employés leur ont signalé que le four ainsi que toutes les friteuses étaient allumés. Un autre problème constaté lors du séisme de Lorca est la déformation de certains encadrements de porte lors de la secousse, ce qui a eu pour conséquence que plusieurs individus n'ont pu sortir. Par exemple, cette femme qui a dû appeler son mari pour qu'il vienne ouvrir la porte depuis l'extérieur.

« Y cuando fuimos a salir la puerta se había quedado bloqueada no podíamos salir. Se bloqueó con el movimiento. Claro yo intente desde dentro abrir y al ver que no abría llame a mi marido. Y el ya estaba en la calle corriendo »⁵¹

Par ailleurs, les personnes à mobilité réduite n'ont pu sortir des bâtiments de plusieurs étages car soit les ascenseurs étaient en panne, soit les personnes n'ont pas voulu les utiliser, respectant les consignes de sécurité. Parmi les personnes enquêtées, une seule a utilisé l'ascenseur après la secousse pour descendre son grand-père qui se déplaçait en fauteuil roulant. Cette situation s'est produite souvent. Le rapport du 112 signale des appels ponctuels à partir de 2H du matin, provenant souvent d'individus qui n'avaient pas voulu évacuer de leur maison auparavant (*Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia)* 2011). Cela veut dire que tous les individus qui n'ont pas pu sortir de leur maison pour une raison ou une autre se trouvaient à l'intérieur de bâtiments plus ou moins endommagés pendant la période des répliques et se trouvaient de ce fait exposés à un risque potentiel d'incendies.

Si l'on revient sur le risque d'être enseveli, plus de 100.000 étais ont été posés à la suite du séisme par les Pompiers, la Protection Civile et l'Unité Militaire d'Urgences (Figure 45). Cela montre que certains des bâtiments étaient en très mauvais état. Dans le même sens, un grand nombre de bâtiments a été démolis comme nous allons le voir dans le chapitre suivant.

Selon la littérature, la plupart des décès se produit donc à l'intérieur des bâtiments ; or la situation a été complètement différente dans le cas de Lorca. Néanmoins, tous les éléments présentés ici indiquent à quel point les constructions ont subi des dommages à cause de la secousse. Se trouver à l'intérieur des bâtiments représentait donc bien un danger important, même si par chance, aucun décès n'a été enregistré dans cette situation. Une des spécificités du cas de Lorca est que toutes les victimes se soient trouvées à l'extérieur des bâtiments. Pour ce cas précis, la voie publique constitue donc l'espace avec la plus haute exposition potentielle.

⁵¹ « Et quand nous avons voulu sortir par la porte, elle est restée bloquée, nous ne pouvions pas sortir. Elle s'est bloquée avec les secousses. Bien sûr, j'ai essayé de l'ouvrir depuis l'intérieur mais en voyant qu'elle ne s'ouvrait pas, j'ai appelé mon mari. Lui était déjà en train de courir dans la rue. »



Figure 45. Exemples de réparations avec étais. Auteur des photos : Adrian Thomas Alarcon.

Voie publique

La voie publique correspond à l'espace extérieur aux bâtiments (Figure 46). C'est un espace utilisé presque exclusivement pour se déplacer mais il peut devenir un lieu propice à la rencontre entre individus.

Etant donné que la plupart des blessés et la totalité des morts se sont produits sur la voie publique, on peut associer à cet espace la plus haute exposition dans le cas de Lorca. C'est pourquoi, dans le chapitre suivant, nous nous focaliserons sur cet espace.

Espace ouvert

Ces espaces se trouvent à l'intérieur de la ville, mais à la différence des précédents, il est très difficile voire impossible qu'un bâtiment ou des débris mettent en danger la population située dans ces espaces (Figure 46). Comme dans le cas de la catégorie « intérieur », c'est un « espace-lieu ». Nous supposons que les personnes ne réalisent pas de trajets dans ces espaces ouverts.

La nature de ces lieux peut être très variée : places, jardins ou friches, par exemple. Suite à la deuxième secousse, certains de ces espaces ouverts sont devenus des lieux d'installation des équipes de protection et de sécurité (Croix Rouge, Protection Civile ou Unité Militaire d'Urgences) ou ont été utilisés pour loger les personnes évacuées.

Dans ces lieux, l'exposition est quasi nulle, le seul bémol est que, dans certains cas, ces espaces sont comme l'œil d'un ouragan, pour en sortir il faudra traverser des zones de danger sur la voie publique, et passer à proximité de bâtiments fragiles et susceptibles de devenir une menace en période de répliques. De plus, ces espaces ont une capacité limitée et donc plus il y aura de personnes présentes dans ces espaces, plus les personnes se retrouveront à proximité des bâtiments alentours. Enfin, dans certains cas (comme par exemple sur la Place d'España), un des côtés de la place est occupé par des bâtiments religieux, très hauts et fragiles comme nous l'avons montré antérieurement (p 85).

Hors Lorca

Avec l'aide des orthophotographies aériennes PNOA et du cadastre, nous avons défini un polygone qui délimite la ville (Figure 46). Toute personne qui franchit cette limite se trouve hors de Lorca et donc hors de danger qu'elle soit à l'intérieur d'une maison, dans la voie publique ou dans un espace ouvert. Cette catégorie se caractérise en effet par une diminution quasi-totale de l'exposition humaine.

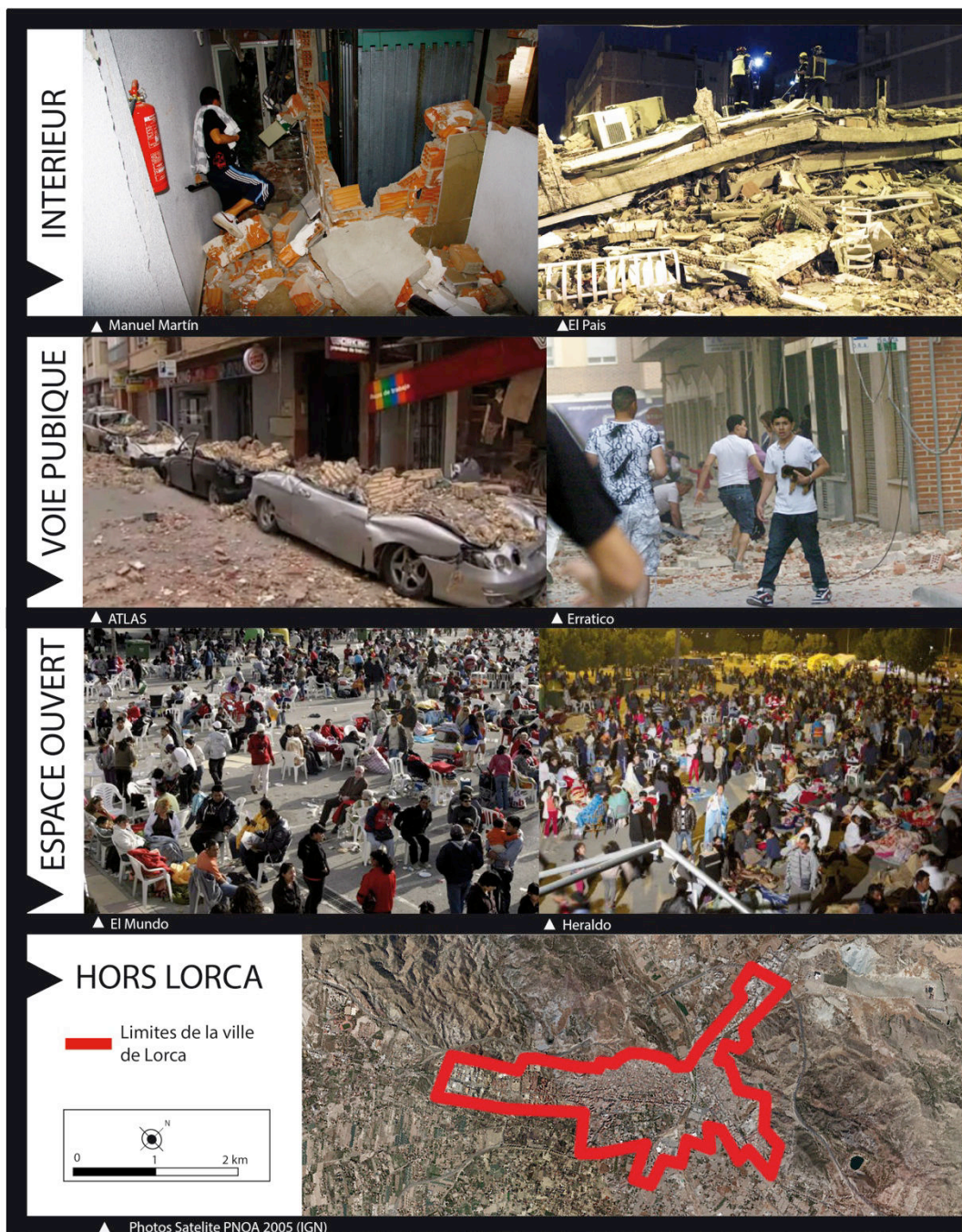


Figure 46. Illustration des catégories d'espaces définies pour caractériser les situations d'exposition. En bas, limite de la ville avec la catégorie hors Lorca. (Sources multiples ; cf. sous les photos).

Après avoir défini les différentes catégories d'espaces, nous analysons comment les individus se distribuent dans le temps dans ces espaces pendant la période de crise sismique.

6.3.2 Fluctuation de l'exposition dans le temps

Le graphique suivant montre la localisation des 20 individus interrogés en fonction de leur localisation situation d'exposition (catégories d'espace) dans le temps de la crise (Figure 47). Chaque ligne du graphique correspond au nombre d'individus présents dans chaque catégorie d'espace. La somme de tous les individus présents dans chaque espace sera toujours égale à 20. Nous avons indiqué avec des flèches rouges l'heure du premier et du deuxième séisme, ainsi qu'une réplique d'une magnitude M_v 3,9 (Figure 47). En regardant la courbe « inférieure », on observe effectivement que les trajets courts identifiés antérieurement (Figure 36 – p 121) or répondent en grande partie aux déplacements entrepris immédiatement après le séisme. Ces déplacements ont servi à sortir des bâtiments juste après la secousse. Sur la même courbe, nous observons plusieurs phénomènes qui apparaissent dans les entretiens. Quelques minutes après la première secousse, certains individus sont retournés à l'intérieur de leur résidence car ils ont estimé que le danger était passé. Cette phase est bien connue des psychologues et identifiée comme une phase de négation qui, dans certains cas, affecte la perception de la réalité externe. Ces mécanismes inconscients aident certaines personnes à relativiser une situation relativement choquante en permettant de mieux contrôler leur peur ou leur angoisse (Páez, Arroyo, et Fernández 1995). Ensuite, certains sont sortis à nouveau à cause des rumeurs de réplique, ou pour regarder les dégâts causés par le premier séisme ou encore parce qu'il y avait du monde à l'extérieur, ce qui a attisé leur curiosité.

La deuxième secousse a fait sortir les individus restés à l'intérieur des bâtiments, de manière immédiate quand cela leur était possible ou quelques minutes plus tard s'ils avaient des personnes à charge (personnes âgées notamment) ou s'ils se trouvaient en état de panique. On observe ensuite le comportement qui consiste à rassembler sa famille pour pouvoir organiser l'évacuation. Parfois, ce rassemblement peut provoquer une augmentation de l'exposition d'un ou plusieurs membres de la famille. Ce phénomène est observé en regardant la courbe correspondant à la situation « à l'intérieur » après le séisme principal. En effet, les personnes qui sont entrées à nouveau dans les bâtiments après les séismes l'ont fait pour aider leurs proches à en sortir. Dans la minute qui a suivi le séisme principal, on observe une majorité d'individus sur la voie publique où les accidents mortels et blessures graves se sont produits (13 sur 20). On observe ensuite une augmentation du nombre de personnes présentes dans des espaces ouverts, donc protégées des potentielles chutes d'éléments du bâti.

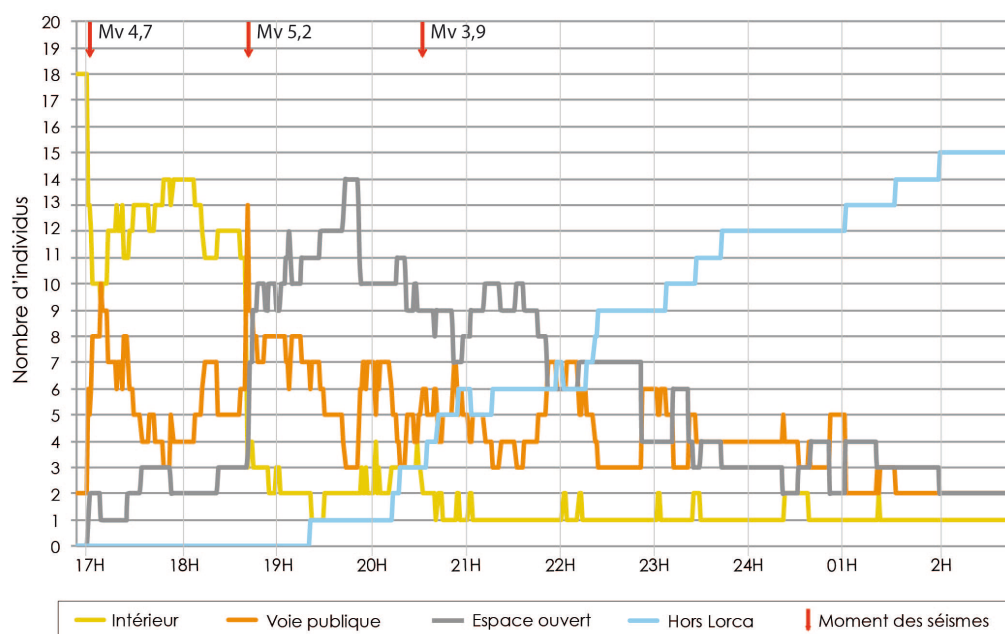


Figure 47. Evolution de la localisation des individus vis-à-vis des bâtiments : une méthodologie d'analyse de l'exposition. A chaque minute, nous observons la localisation des individus dans l'une des quatre catégories d'espaces définies antérieurement.

Nous pouvons observer aussi que l'évacuation a commencé majoritairement presque deux heures après le séisme principal ; puis le nombre d'individus évacués a augmenté de manière régulière. Certains individus pourtant sont retournés à nouveau dans des bâtiments après la deuxième secousse. Cependant, cette action a été immédiatement suivie par une évacuation complète de la ville. Il ne s'agit donc plus d'actions de mise en protection des proches, mais d'un dernier élément d'organisation avant d'évacuer : rechercher les clés de la voiture ou de leur résidence secondaire.

Le graphique montre également que les individus n'ont pas ressenti le besoin d'aller dans un espace ouvert suite au premier séisme, et qu'ils sont restés sur la voie publique. Par contre, suite au séisme principal, la plupart des témoins se sont concentrés dans les espaces ouverts plutôt que sur la voie publique. Concernant notre petit échantillon cet élément contredit donc le discours des acteurs locaux selon lequel « le premier séisme a aidé à sauver des vies car une grande partie de la population était dans la rue », lieu qui, dans ce cas, s'est avéré être le plus dangereux.

6.3.3 Modèle conceptuel de mobilité en période de crise

A partir du graphique antérieur (Figure 47) et des entretiens qui nous aident à les interpréter, nous proposons un modèle de mobilité en période de crise sismique. Ce modèle permet de comprendre que l'évacuation de la ville est l'aboutissement d'une série complexe de déplacements plus ou moins à risque (Figure 48). Ce modèle met en relation la localisation des individus et leur mobilité avec le temps ainsi que leur exposition spécifique. Cette exposition est calculée à partir du cas de Lorca. Le temps sur l'axe des ordonnées est spécifique à chaque individu, ce qui veut dire que le temps de passage de l'intérieur de la ville à l'extérieur va varier en fonction des contraintes individuelles. Nous avons différencié deux types de trajets selon les objectifs poursuivis. Ces objectifs ont été repérés grâce à l'étude des activités (6.2 Se déplacer et agir : un même but, se mettre en sécurité p 130). D'un côté, toutes les mobilités relatives à la protection (flèches noires) et de l'autre toutes celles concernant l'évacuation (flèches bleues). Tant que l'on reste dans l'étape de mise en protection l'exposition est élevée (à l'intérieur, sur la voie publique surtout, mais aussi dans une certaine mesure dans un espace ouvert). Elle diminue sensiblement seulement lorsque les individus se trouvent en dehors de la ville.

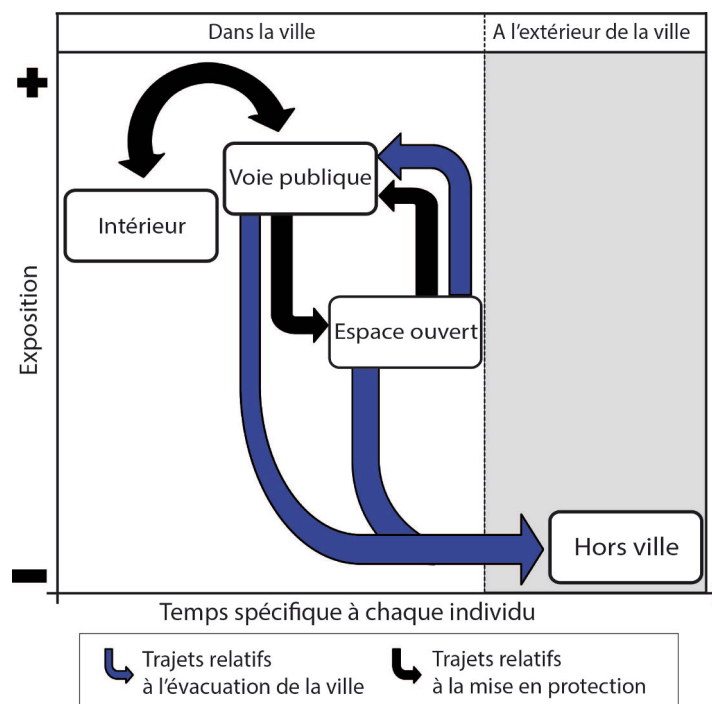


Figure 48. Modèle conceptuel de la mobilité en relation avec l'exposition en période de crise sismique. Modèle construit à partir de l'analyse de l'événement sismique du 11 mai 2011 à Lorca en Espagne.

Dans le chapitre suivant, nous nous focalisons sur la voie publique et l'exposition des individus qui se situent dans cet espace. L'analyse, va donc mettre l'accent sur la composante spatiale et non sur la temporalité (minute à minute) de la mobilité.

Chapitre 7 - La voie publique : lieu d'exposition spécifique

Dans le chapitre précédent, nous avons séparé la ville en quatre espaces : intérieur, voie publique, espace ouvert et hors de la ville. Comme nous l'avons expliqué la particularité de l'évènement de Lorca est que toutes les victimes et la plupart des blessures se sont produites à l'extérieur des bâtiments. C'est la chute des éléments de façade sur la voie publique lors du deuxième séisme qui a provoqué ces impacts humains. Rappelons que lorsqu'on se réfère à la littérature, les blessures et décès en cas de séisme se produisent généralement à l'intérieur des bâtiments totalement ou partiellement écroulés (Armenian et al. 1997; Coburn, Spence, et Pomonis 1992; Spence et So 2011). Ainsi l'exposition humaine est la conjonction spatiotemporelle du bâtiment (écroulé ou susceptible de s'écrouler) et des personnes qui se trouvent à l'intérieur. Cela amène à la conclusion suivante : lors d'un séisme, toute personne que ne se trouve pas à l'intérieur d'un bâtiment n'est pas exposé. C'est la raison pour laquelle les consignes classiques de sécurité sont de sortir et de s'éloigner des bâtiments le plus rapidement possible après la secousse. Selon ce principe, étudier l'exposition humaine suppose donc de se focaliser sur le moment du séisme précisément, lorsque les dommages au bâti se produisent, causant des dommages corporels par conjonction spatiotemporelle.

Or, le séisme de Lorca présente une situation très différente : les personnes ont été blessées, parfois mortellement, à l'extérieur des bâtiments. La fenêtre spatiotemporelle d'observation permettant de comprendre l'exposition sociale est dans ce cas remise en cause. Au moment du séisme, ce ne sont pas seulement les personnes qui se trouvent à l'intérieur des bâtiments qui sont exposées, mais aussi celles situées à l'extérieur. De plus, être à l'extérieur n'apparaît plus ici comme une garantie de sécurité étant donné que les bâtiments ou éléments de façade fragilisés peuvent s'écrouler à tout moment et faire des victimes, parfois plusieurs minutes après la secousse. L'exposition sociale ne sera donc réellement réduite que lorsque la population aura quitté la ville, ou

lorsqu'elle se sera suffisamment éloignée des bâtiments fragilisés ; mais étant donné la densité urbaine, c'est réellement en évacuant la ville que la population ne s'expose plus.

Il apparaît ainsi qu'en termes d'exposition une période d'analyse soit à redéfinir. Alors que traditionnellement la période retenue se concentre sur la secousse, cette nouvelle configuration demande d'étudier comment se fait l'évacuation de la ville en analysant la fluctuation de l'exposition humaine dans les heures qui suivent le séisme, temps nécessaire pour une évacuation totale. Pour comprendre l'exposition, le processus d'évacuation de la population doit donc être intégrée entièrement dans la période de crise sismique. Dans le chapitre précédent, nous avons regardé l'évolution temporelle de la mobilité à partir du premier séisme. Pour analyser la fluctuation de l'exposition, nous allons laisser de côté la période entre les deux secousses. En effet, toutes les données concernant les dommages sur les bâtiments apparaissent après la secousse importante, donc la deuxième dans le cas de Lorca. C'est à partir de ce moment que les bâtiments ont subi les dommages les plus importants sur les structures et les éléments de façade. C'est donc à partir du deuxième séisme que s'approcher des bâtiments entraîne une augmentation de l'exposition.

7.1 Caractérisation de l'exposition humaine dans le cas de Lorca

Pour l'analyse, nous allons utiliser les données disponibles, utiles pour déterminer quels sont les bâtiments fragiles, pour ensuite regarder si l'échantillon de population interrogé lors de la campagne de terrain s'est trouvé exposé à ces bâtiments. Nous analysons donc deux temporalités différentes : premièrement, l'immédiat après le séisme, le moment où l'essentiel des dommages au bâti se produisent, et deuxièmement l'ensemble de la période de crise sismique jusqu'à évacuation complète des zones impactées. Si aucun dommage corporel n'a été enregistré lors de l'événement de 2011 durant cette période, nous montrerons qu'elle constitue une phase importante d'exposition humaine potentielle.

7.1.1 Situations critiques lors de l'événement

Le deuxième séisme de Lorca a provoqué 324 blessés et 9 décès parmi lesquels on compte quatre femmes et cinq hommes. Deux de ces femmes étaient enceintes et un des hommes était un enfant de 14 ans. Pour mieux comprendre l'exposition sociale dans le cas de Lorca, nous proposons ici de détailler les causes des décès ainsi que leur localisation dans la ville et procédons de même pour les blessés en nous basant sur le recensement des interventions transmis par les services de santé de Lorca.

Dans la partie nord de Lorca, les quartiers de Saint Cristobal et Saint Diego cumulent plus de la moitié des décès (A, B, C sur la carte Figure 49). Trois individus sont morts alors qu'ils étaient en train de discuter à la porte d'un magasin, propriété de l'un d'entre eux, dans le quartier de Saint Cristobal. Les personnes présentes au moment des faits décrivent une pluie de débris provenant de la terrasse de l'immeuble de 3 étages. 500 mètres plus à l'est une femme de 50 ans était en train de sortir d'un salon de coiffure quand des débris se sont abattus sur elle (repère D sur la carte). Quelques mètres plus loin un homme de 44 ans a été retrouvé enseveli par des débris provenant d'un autre bâtiment proche (repère E).

A l'autre extrême de la ville dans le quartier de la Viña, le plus endommagé lors de cet événement, on comptabilise trois autres décès. La première victime est une femme qui marchait dans la rue avec ses deux enfants de un et trois ans (repère F). Ils se trouvaient à proximité du seul immeuble qui s'est écroulé. Les débris provenant de l'écroulement du bâtiment ont complètement enseveli ces trois personnes. Les secours ont retrouvé les deux enfants vivants sous le corps de leur mère qui les a protégés. Un peu plus loin dans cette même rue, les secours ont trouvé le corps d'un homme de 37 ans (repère G) impacté par la chute d'une corniche, et celui d'un enfant de 14 ans qui était à la porte d'un bar, 500 mètres au nord (repère H). Enfin, dans le quartier de Saint Pedro sous le château de Lorca est morte une femme de 22 ans, enceinte. Elle se trouvait près d'un mur qui s'est écroulé et l'a écrasée (repère I).

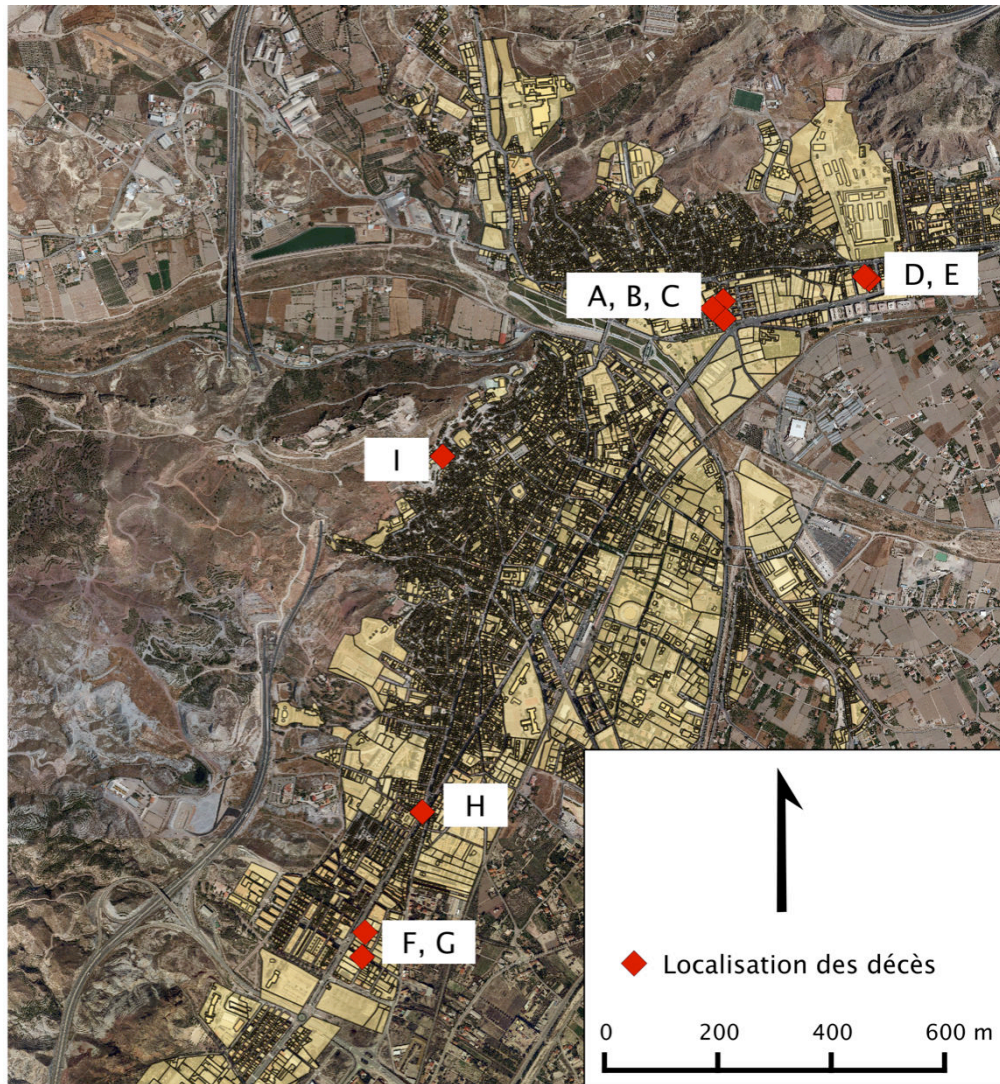


Figure 49. Carte de la ville de Lorca avec la localisation des 9 décès. Source : Données cadastrales de l'IGN. Fond carte : Images PNOA del Instituto Gografico Nacional. Localisation, élaboration propre à partir informations photographiques et de plusieurs journaux (El Mundo, La Verdad).

Pour ce qui concerne les personnes blessées, nous avons utilisé les données du service d'urgence (le 112) de Murcia. Entre 19H15 et 24H le 11 mai, ce service a réalisé 163 assistances en relation directe avec le séisme. Les pathologies traitées étaient les suivantes : 4 traumatismes cranio-encéphaliques, 28 poly-contusions, 52 blessures et hémorragies, 32 crises d'anxiété. Pour les 47 autres interventions, aucune information précise n'a été enregistrée. De 24H jusqu'à 9H au matin du 12 mai, le service de secours est intervenu 453 fois, les patients ayant été acheminés vers différents hôpitaux de campagne autour de Lorca et 36 autres ayant été transférés dans d'autres hôpitaux de la région. Sur la base de ces observations, il apparaît que les contusions au niveau de la tête ou d'autres parties du corps ont été la principale cause des blessures.

Le séisme de Lorca présente cette particularité majeure décrite ici, mais également dans d'autres retours d'expérience (González López 2012; Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012; Santamaría, López, et Alguacil 2012) : l'écroulement des bâtiments ou de partie de bâtiments a impacté la population se trouvant sur la voie publique. Selon les personnes interviewées au sein des services de sécurité (4.2.1 Les services de sécurité p 54) le danger principal vient du fait qu'un grand nombre de bâtiments ou d'éléments de ces bâtiments se trouvaient en équilibre instable après la deuxième secousse. On peut donc affirmer que immédiatement après la secousse, les zones d'exposition principales se trouvent à l'extérieur des bâtiments fragilisés par la secousse, sur la voie publique. Nous proposons donc une méthodologie permettant, à partir des données collectées sur le terrain, d'évaluer la variabilité de cette exposition dans l'espace et dans le temps dans le contexte particulier de cet événement.

7.1.2 Période d'exposition maximale

Passer à proximité d'un bâtiment fragile augmente donc l'exposition de l'individu. Cependant si ce bâtiment fragile a été purgé, l'exposition humaine va automatiquement décroître. C'est pourquoi nous avons borné la période d'observation à l'intervention des services de sécurité en vue de la vérification et de la sécurisation des bâtiments. En effet, après la deuxième secousse vers 18H47, les services de sécurité ont uniquement cherché à mettre les personnes en lieu sûr. Les tâches de vérification et d'assainissement des bâtiments n'ont commencé que le lendemain, le 12 mai. Ce détail est très important car pendant les heures qui séparent la deuxième secousse de la vérification-sécurisation des bâtiments, c'est-à-dire entre le 11 et en partie le 12 mai, le danger au droit des bâtiments fragilisés reste important. Nous verrons par ailleurs que, malgré les consignes, les populations sont parfois revenues vers ces bâtiments.

Comment connaître quels sont les bâtiments fragilisés susceptibles de s'écrouler après la secousse ? Dès le 12 mai, des architectes et des techniciens ont réalisé des évaluations sur l'ensemble des bâtiments de Lorca. Ces évaluations avaient pour objectif d'identifier les bâtiments les plus endommagés afin d'en interdire l'accès aux habitants avant leur sécurisation d'urgence, si possible. Nous allons nous servir de ces évaluations pour identifier les bâtiments les plus fragiles. En effet ces estimations permettent de localiser les bâtiments qui présentent des dommages graves, et ceux pour lesquels les dommages sont tellement graves qu'ils seront les premiers à être démolis. Cette fragilité peut être due aux structures affectées ou bien à des éléments non structuraux en équilibre. Nous présentons par la suite quelques exemples. L'image suivante montre comment les pompiers nettoient une corniche qui était en équilibre (Figure 50). Sur la figure suivante (Figure 51), la corniche était déjà tombée pendant la secousse alors que dans le troisième exemple, (Figure 52) la moitié de la corniche était sur la voie publique mais il restait encore une hauteur importante en équilibre. Selon ce

que l'on voit sur la vidéo, avec un petit coup de pied, la corniche tombe facilement. Lors d'une réplique un peu forte, elle aurait donc représenté un danger.



Figure 50. Pompiers faisant tomber de manière contrôlée une corniche en équilibre le lendemain du tremblement de terre de Lorca. Auteur : REUTERS.



Figure 51. La corniche est complètement tombée sur la voie publique (Source : *El Periodico de Hoy*).



Figure 52. Exemple d'une corniche en équilibre, extrait d'une vidéo filmée le 12 mai, lendemain de la secousse, et postée sur le canal You Tube (*Noticias de hoy*)(*Terremoto en Lorca en HD*). Les pompiers font tomber la corniche juste avec un petit coup de pied. Source : *El Periodico de Hoy*.

7.1.3 Définition des zones d'exposition

Sur la base des éléments dont nous disposons pour ce cas de Lorca, et avec nos compétences spécifiques de géographe, nous proposons une méthodologie permettant de définir les zones d'exposition pour ensuite pouvoir y croiser les trajectoires des individus et estimer l'exposition humaine qui y est associée (Figure 53). Cette méthode utilise des images de 9 zones pilote (Figure 55) pour calculer les dimensions des zones d'impact de la chute d'éléments du bâti, et évaluer la distance maximale d'impact. A partir d'une analyse de ces images, nous avons cherché à appliquer le calcul à l'ensemble des bâtiments fragiles, et à définir pour chacun sa zone d'exposition.

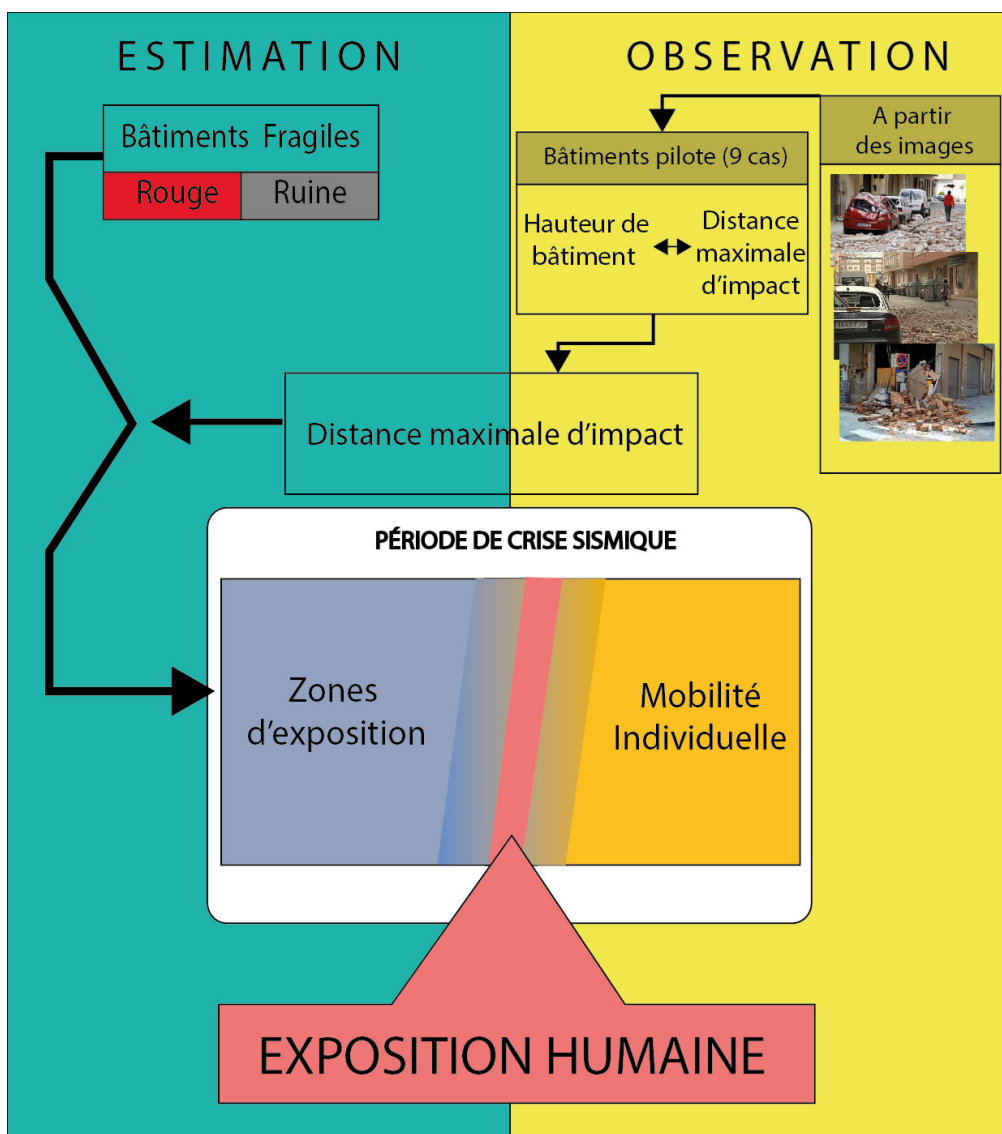


Figure 53. Schéma de la méthodologie utilisée pour l'analyse de l'exposition humaine pendant la période de crise sismique provoquée par le séisme de Lorca.



Figure 54. Exemple d'une zone de débris ou zone d'exposition. Source : *El Periodico de Hoy*.

Les études qui travaillent sous l'hypothèse que les morts se produisent à l'intérieur des bâtiments essaient de connaître quels sont les facteurs qui ont augmenté la vulnérabilité des bâtiments. Ces facteurs de plus en plus connus vont permettre de connaître quels sont les bâtiments plus vulnérables après une secousse. Ces facteurs peuvent être liés au bâtiment lui-même, tels que le type de construction, l'année d'édification du bâtiment ou la taille des piliers porteurs, ou bien être liés à l'aléa. Dans tous les cas, la relation entre les dommages et la fragilité structurelle des bâtiments est mise en évidence. Cependant, qu'elle est l'influence de ces facteurs sur la distance maximale d'impact et la zone d'exposition ? La littérature en la matière est assez pauvre.

En effet, nous avons cherché dans la littérature, les facteurs qui peuvent influencer la distance maximale d'impact des débris en cas de chute l'éléments de façade. Cependant nous n'avons pas trouvé d'étude réellement centrée sur ces aspects. L'essentiel des études se centrent en effet sur les défaillances structurelles qui causent généralement le plus de morts, à l'intérieur des bâtiments (Armenian et al. 1997; Coburn, Spence, et Pomonis 1992; Spence et So 2011). Certaines études énumèrent certains facteurs possibles de fragilité non structurelle, (Dhokal 2010), mais aucune n'étudie la manière dont les débris sont projetés sur la voie publique.

Nous avons supposé que la hauteur du bâtiment pouvait avoir une incidence sur la distance d'impact des éléments projetés au sol par la secousse. Ainsi, à partir de l'analyse des images prises dans 9 zones pilotes à la suite du séisme de Lorca, nous avons mesuré les zones de débris provoquées par le séisme principal ainsi que la hauteur

des bâtiments qui en sont à l'origine. Nous examinerons si, sur ces quelques cas, cette relation est avérée.

7.1.4 Localisation des bâtiments fragiles

Les données concernant les bâtiments les plus fragilisés ont été obtenues à partir de deux sources. Comme nous l'avons déjà expliqué dans la section qui fait référence aux dommages sur les bâtiments (5.2.2 Les dégâts sur les bâtiments de Lorca p 85), les évaluations des bâtiments ont débuté dès le lendemain du séisme, les classant selon un code de couleurs : vert, jaune, rouge et noir. Les bâtiments marqués en vert sont directement habitables ; les jaunes demandent quelques travaux sur les éléments non structuraux ; les rouges ont été gravement endommagés et nécessitent des évaluations plus approfondies. L'accès en est donc interdit aux habitants. Suite à ces évaluations, une nouvelle liste a été créée avec les bâtiments qui présentent des dommages tellement importants qu'il faut les démolir dans les plus brefs délais. Ils sont identifiés comme points noirs et zones en ruine (Figure 56). Ce sont donc ces bâtiments classés en rouge et en ruine qui ont été retenus comme bâtiments fragiles pour notre analyse.

Nous avons pu observer une certaine disparité des données concernant l'attribution des couleurs des bâtiments. En conséquence, nous avons souhaité comparer les différentes sources afin d'estimer l'exactitude des données (Tableau 7). Nous avons donc comparé trois sources de données, le site de la mairie de Lorca (à deux moments différents), l'article (González López 2012), et les données qui nous ont été fournies par le service d'urbanisme de Lorca.

Sur le site de la mairie de Lorca, il est possible, à l'aide d'un navigateur de la municipalité, d'observer le codage des bâtiments (Figure 55).

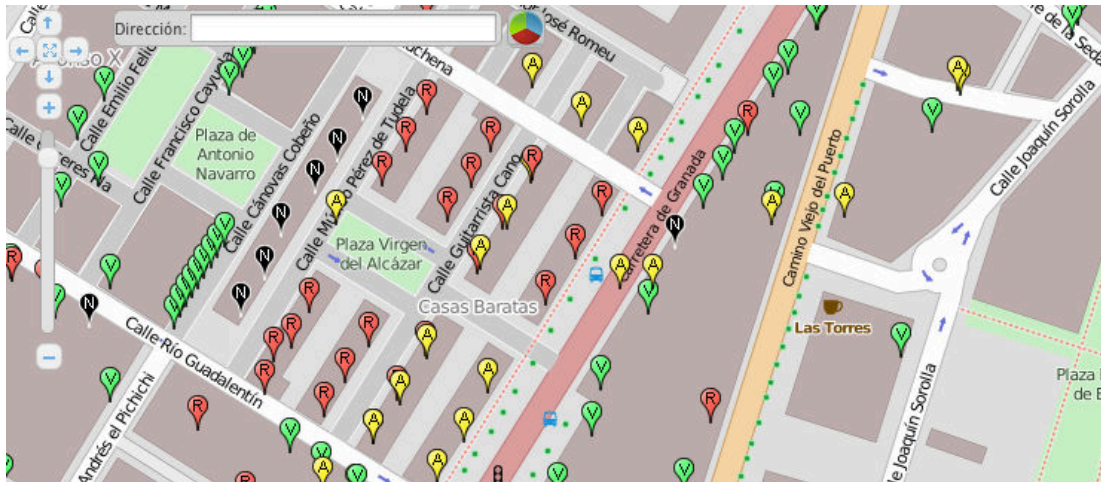


Figure 55. Exemple du navigateur géographique disponible sur le site de la mairie de Lorca. On observe le code couleur appliqué à chaque bâtiment. Source : <http://www.lorca.es/ficheros/file/sitLorcaSeismo/index.asp>.

Ce service a été mis en place pour la population, mais n'a pas été actualisé. Comme on peut l'observer sur le tableau suivant, entre le mois d'avril 2012 et début de 2014, le nombre de bâtiments de chaque catégorie a été à peine modifiées. Selon l'article de Sofía Gonzalez Lopez sur les réactions des services de sécurité, les valeurs provenant du gouvernement espagnol sont supérieures pour les bâtiments classés en vert et jaune, et inférieures pour les bâtiments classés en rouge et en noir (González López 2012). Il est probable que ces données soient plus récentes que celles que nous avons pu récupérer auprès du *Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion de Lorca (SUP⁵²)*, ce qui expliquerait la diminution du nombre de points rouges et l'augmentation du nombre de jaunes et verts. Les bâtiments rouges qui ont été réparés ont pu être classés en jaune dans l'analyse de Gonzalez Lopez, de même pour les bâtiments en jaune qui ont pu être classés en vert. Comme nous l'avons déjà dit, ces réparations ont débuté le 12 mai. Ainsi les bâtiments restent fragiles le 11.

⁵² Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion de Lorca chargé du développement et de l'application des outils d'aménagement prévus dans le plan général d'aménagement territorial urbain.

Catégorie de dangerosité des bâtiments/Sour ce des données	Site de la mairie de Lorca (21/01/2014)	Site de la mairie de Lorca (26/04/2012)	Article de (González López 2012)	Données compilées (SUP)
Points verts	4047	4040	5383	Non fournies
Points jaunes	1283	1284	1569	812
Points rouges	723	725	664	351
Points noirs	329	329	260	331
Zones ruine	0	0	0	239

Tableau 7. Comparaison des différentes sources de données concernant la dangerosité des bâtiments.

Notre demande auprès de « *Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion* » était d'avoir les informations les plus anciennes possibles. L'objectif était donc d'avoir les bâtiments qui ont été identifiés comme fragiles lors de la première inspection sans avoir intégré les données suite aux améliorations d'urgence effectuées sur les structures durant les jours suivants. On remarque que nous avons des différences sensibles sur des bâtiments classés en jaunes et en rouges par rapport aux deux autres sources. Cela est dû à deux raisons. Premièrement, les autres sources d'information comptabilisent toutes les édifications de la ville et celles des alentours tandis que le service d'urbanisme se concentre seulement sur celles de la ville de Lorca. L'autre raison peut venir du fait que la première inspection n'était pas aussi exhaustive que celles des jours suivants. Ainsi, concernant ces deux types de bâtiments, nous avons voulu utiliser ces données surtout pour obtenir les premières estimations, et avoir ainsi l'état le plus proche de la situation juste après le séisme.

En revanche, les données du service d'urbanisme sont exhaustives pour ce qui concerne les points noirs. De plus, ce service propose une couche des polygones des parcelles sur lesquelles les bâtiments ont été démolis. Cependant, cette information est redondante avec celle des points noirs. En effet, les points noirs se trouvent tous à l'intérieur des zones en ruine.

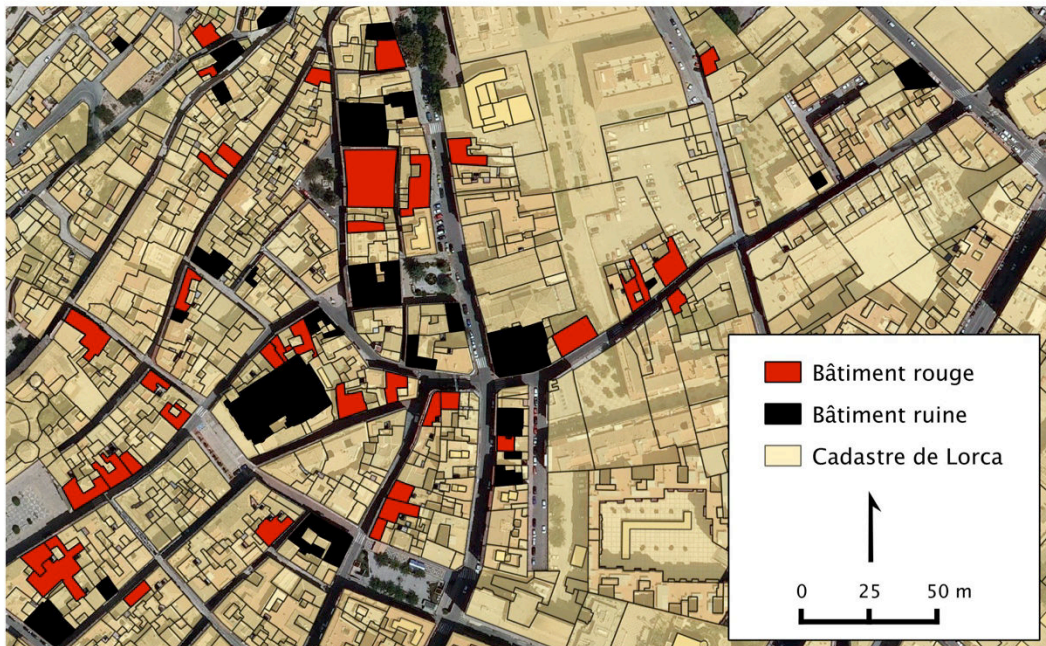


Figure 56. Extrait des bâtiments classés en rouge et en ruine. Données cadastrales de l'IGN. Fond carte : Images PNOA del Instituto Gografico Nacional. Evaluation des batiments : Source Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion.

Au total, 452 bâtiments localisés dans Lorca sont classés comme fragiles (289 bâtiments classés en rouge et 163 en ruine). Ces 452 bâtiments constituent notre base de données des bâtiments fragiles mais une réflexion s'impose concernant la pertinence de ces données. En effet, les évaluations du bâti sont mises en oeuvre juste après le séisme pour empêcher que des personnes ne rentrent chez elles au cas où le bâtiment s'écroulerait. Ainsi les éléments primordiaux à évaluer concernent la structure plutôt que les éléments non structuraux qui peuvent tomber à l'extérieur du bâtiment. Il paraît évident qu'un bâtiment classé en ruine a de fortes chances de s'écrouler lors d'une réplique et un bâtiment en rouge présente le même risque mais avec une probabilité supposée inférieure. Cependant aucune donnée ne nous permet d'affirmer qu'un bâtiment marqué en rouge ou en ruine présente forcément des éléments non structuraux en équilibre qui risquent de tomber à l'extérieur car cet aspect n'est pas pris en compte directement dans les évaluations. De la même manière, un bâtiment classé en jaune pourrait présenter une corniche en équilibre mais avoir une structure en parfait état. Néanmoins, face à l'inexistence des données plus adaptées pour évaluer l'exposition à l'extérieur des bâtiments, il nous semble adéquat de poursuivre avec le raisonnement énoncé précédemment, même si nous sommes conscients qu'il y a des biais dans l'analyse (biais que nous ne sommes pas en mesure de calculer précisément).

De plus, des erreurs humaines ont parfois amené à surévaluer ou sous-évaluer le danger d'un bâtiment. Ainsi, la question de la validité des données se pose étant

donné que les évaluations se succèdent et parfois sont contradictoires. Dans certains cas, des bâtiments classés en vert ont été finalement démolis et au contraire des bâtiments en rouge ont été classés en vert après vérification. C'est ce que reflète l'extrait de journal suivant : une femme est retournée chez elle car, lorsqu'elle est partie, sa maison était étiquetée en vert ; mais lorsqu'elle est arrivée devant sa porte, une marque rouge l'attendait et l'accès lui a été refusé (Annexe 5).

« Venía a su casa a recoger cristales. El jueves le pusieron una marca verde en la puerta, que significa que es habitable, y este lunes los técnicos rectificaron y le han puesto un círculo rojo: está en ruina. No se puede entrar. »⁵³

Ainsi même si cela n'a pas été très fréquent, certains bâtiments classés en verts ou en jaunes ont pu également présenter des dangers pour la population. Mais aucune trace sur les possibles dommages sur ces bâtiments n'a été créée, il est donc impossible de les prendre en compte dans l'analyse.

Les bâtiments classés en rouge et en ruine présentent quant à eux des dommages structurels et/ou non structurels sévères. Nous supposons donc que ce sont eux qui présentent les niveaux d'exposition les plus élevés pour les individus qui passent à proximité. Les possibles dangers peuvent venir de la chute de corniches, éléments de façade ou encore des bâtiments entiers. Nous allons à présent évaluer la dimension des zones des débris susceptibles de causer des dommages corporels.

7.2 Définition des zones d'impact

Dans cette sous-section nous essayons de répondre à la question suivante: que signifie s'exposer à un bâtiment fragilisé? Passer en touchant la façade ? Circuler à un mètre de la façade ou à dix mètres ? Nous avons donc étudié les distances que peuvent atteindre les débris provoqués par la chute d'éléments détachés d'un bâtiment ou un bâtiment écroulé en entier, susceptibles de causer des dommages à la population. Afin de calculer cette zone de débris pour chaque bâtiment fragile, nous avons étudié les images collectées dans les zones pilote.

⁵³ « Elle venait récupérer des verres à la maison. Le jeudi, ils avaient mis une marque verte sur la porte, ce qui voulait dire que la maison était habitable, et le lundi, les techniciens ont changé, ils ont mis un cercle rouge, ce qui veut dire : c'est une ruine, on ne peut plus y entrer... source : Journal (« 20 minutos » article complet dans les annexes). »

7.2.1 Calcul de la distance d'impact maximale observée

Le corpus des informations utilisées pour le calcul de la distance d'impact maximale observée a été créé à partir des images (photos et des vidéos) prises lors de la campagne de terrain (4 jours après le séisme) ainsi que d'autres images disponibles sur internet (4.2.3 Données compilées déjà existantes p 55).

Utiliser des photographies est une pratique qui se répand de plus en plus pour l'analyse des risques. Cela répond à un besoin de connaissance de plus en plus fine des événements extrêmes, difficiles à prévoir. Plusieurs bases de données photographiques ont ainsi vu le jour. L'USGS⁵⁴ aux Etats-Unis, par exemple, collecte depuis des années des images des séismes et propose un catalogue en ligne⁵⁵. Nous avons trouvé un autre catalogue d'images très riche, dans ce cas multirisque, sur le site du ministère des ressources naturelles canadien⁵⁶.

Dans la même optique, un projet a été mis en œuvre en 2013 au National Severe Storm Laboratory (NSSL, National Weather Centre, Norman, Oklahoma). Dans ce cas, la collecte de photographies répond au besoin de compléter les sources des données concernant les crues rapides. Le projet FLOCAST vise ainsi à la création d'un catalogue de photographies de crues rapides. Un guide méthodologique a été rédigé pour améliorer la qualité des images et guider les photographes bénévoles lors des prises de vue pour une utilisation optimale de ces données spécifiques⁵⁷.

Dans notre cas, l'utilisation des images a été faite avec l'objectif de calibrer les zones d'impact des débris tombés sur la voie publique. Les images nous ont donc permis de quantifier des distances pouvant être considérées comme dangereuses pour la population à proximité des bâtiments endommagés par un séisme. La base de départ comporte une vingtaine d'images représentant des zones de débris. Cependant, certaines de ces images n'étaient pas exploitables, étant donnée l'impossibilité d'identifier la localisation exacte des bâtiments. De ce fait, nous ne pouvions pas connaître la hauteur du bâtiment et nous les avons donc écartées de l'analyse. Pour connaître la localisation des bâtiments, nous avons besoin de quelques repères sur les images, telles que le nom d'un bar, d'un commerce, un parking ou une place. Au total, nous avons donc pu travailler sur 9 cas d'études (les zones pilote) à partir desquels nous avons calculé la distance maximale de la zone d'exposition.

⁵⁴ L'USGS est une organisation scientifique qui fournit des informations sur la santé de nos écosystèmes et de l'environnement, les risques naturels, les ressources naturelles dont nous dépendons, les impacts du changement climatique et l'aménagement du territoire (<http://earthquake.usgs.gov>).

⁵⁵ <http://earthquake.usgs.gov/learn/photos.php>.

⁵⁶ <http://geoscan.ess.nrcan.gc.ca/starweb/nrcanphoto/servlet.starweb#?>

⁵⁷ <http://www.nwc.ou.edu>

Ce qui nous intéresse sur ces images, c'est donc la distance maximale atteinte par les débris provoqués par la chute d'éléments du bâtiment. Cette distance est définie comme le point le plus éloigné de la façade où l'on observe des débris d'environ de la taille d'une brique standard (110 x 70 x 230 mm). Cette taille sert à poser une limite et ne pas prendre en compte de petits morceaux qui peuvent être le résultat de plusieurs rebondissements. Le point à partir duquel le calcul de la distance est effectué est donc la façade du bâtiment qui est à l'origine des débris. Nous présentons ici trois exemples d'étude de distance maximale d'impact.

Premier exemple : corniche tombée devant le *Fast Food*

Nous disposons pour ce cas de trois images concernant le véhicule impacté. Pour ces trois images, nous avons une mesure précise ainsi que trois points de référence qui permettent de faire le lien entre les trois images (flèche jaune). Dans un premier temps, nous avons identifié la marque et modèle de la voiture (Yunday Tibuton), ce qui a permis de définir sa largeur totale (1,73 m selon le constructeur). Sur la photo, on observe que la largeur de la voiture est similaire à celle du trottoir. Ensuite, sur la deuxième image prise également devant le restaurant repérable à son enseigne colorée (flèche jaune), on s'aperçoit que les débris les plus importants s'étalent encore sur 1,5 m sur la rue au-delà des voitures. Nous concluons que la distance maximale d'impact est donc de 5 mètres environ.

Chaque exemple a ses particularités, mais en résumant nous essayons d'avoir un maximum de références sûres à partir desquelles nous déduisons la largeur de la zone d'impact. Nous noterons qu'il y a une incertitude liée notamment aux différentes perspectives des photographies. Afin de ne pas exagérer les mesures nous avons eu tendance à prendre les distances minimales plutôt que maximales. Par exemple, dans le cas présenté ici, nous pourrions affirmer qu'il y a plus de 1,5 m entre la voiture et la fin des débris.. Cependant nous avons préféré sous-estimer les distances d'impacts, plutôt que de les surestimer pour éviter de dramatiser les situations lors de l'interprétation des résultats.



Figure 57. Exemple de mesure de la distance maximale d'impact. La flèche jaune nous donne un point de repère commun aux trois photos. Auteurs des photos : haut (REUTERS), gauche (La Verdad), droite (Luis Campoy).

Second exemple : « A proximité de la maison écroulée »

Pour ce cas, nous avons une seule photographie. Celle-ci montre également un deuxième exemple au fond de l'image : une maison qui s'est effondrée pendant la secousse. Pour les débris au premier plan, il a été simple de les localiser, grâce à cette deuxième maison effondrée. Dans ce cas, nous avons mesuré à l'aide des orthophotographies la largeur de toute la voie (7 mètres). En enlevant les 1,7 m des voitures ainsi qu'1 mètre pour le trottoir, la distance maximale d'impact est d'environ 4,30 mètres (arrondis à la baisse à 4 m). Il convient de noter que les voitures ont pu être un obstacle à l'étalement des débris, limitant leur propagation. L'estimation de 4 mètres paraît donc un minimum dans ce cas.



Figure 58. Exemple du calcul de la distance maximale d'impact. Auteur de la photo : La Verdad.

Troisième exemple : « Bâtiment écroulé »

Nous avons voulu calculer aussi la distance maximale d'impact du seul bâtiment écroulé même si nous sommes conscients que pour l'analyse des zones maximales d'impact, ce cas ne pourra être traité de la même manière car il ne relève pas de la chute d'éléments structuraux mais de l'écroulement du bâtiment. Ce cas étant assez

spectaculaire, les photographies et les images vidéo sont très nombreuses. La zone d'impact couvre l'ensemble de la largeur de la voie publique. Elle est donc, comme nous l'avons signalé précédemment, de 7 mètres au moins voire un peu plus car le bâtiment effondré est entré dans la vitrine de la boutique d'en face (Figure 59). Cependant nous avons préféré arrondir l'estimation à 7 mètres.

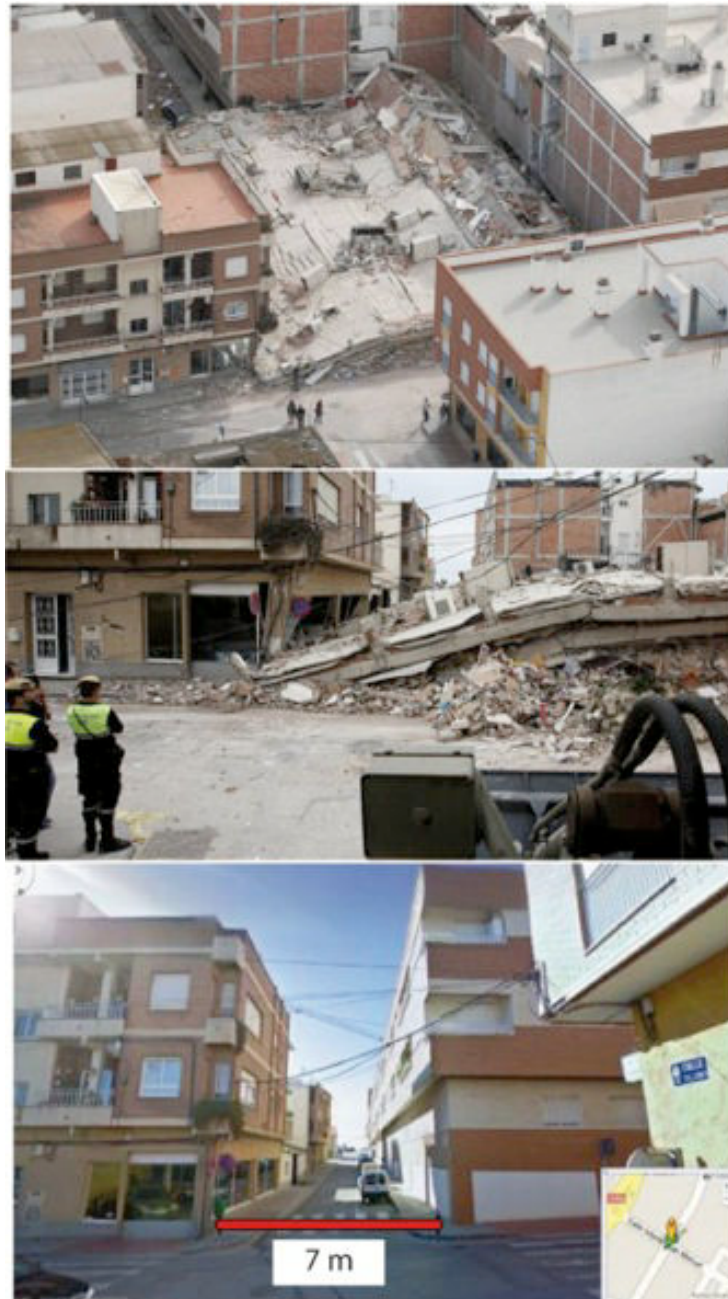


Figure 59. Exemple du calcul de la distance d'impact maximale. Auteurs des photos : haut (RISMUR), milieu (REUTERS), bas (Google Street).

Nous avons procédé de la même manière pour les 9 cas sur lesquels nous sommes parvenus à collecter suffisamment d'information. Cette méthodologie nous a permis d'avoir un ordre de grandeur de la zone d'impact pour chaque cas précis. Cependant, le faible nombre de cas ne nous permet pas créer une moyenne statistiquement représentative. A partir de l'identification des lieux précis, nous avons pu consulter le cadastre afin de déterminer le nombre d'étages des bâtiments concernés. Malgré le nombre réduit de cas, cela permet donc une première estimation de l'influence de la hauteur des bâtiments sur la zone d'impact.

7.2.2 Estimation de la hauteur des bâtiments

Calculer la hauteur des bâtiments a été possible à partir du nombre d'étages. Pour connaître le nombre d'étages des bâtiments responsables des débris, nous disposons des données du cadastre. Ensuite, nous avons suivi les normes du Code Technique d'Edification⁵⁸ pour affecter les hauteurs associées à chaque étage. La hauteur minimale entre le sol d'un étage et le sol de l'étage supérieur ne peut être inférieure à 2,5 mètres. Pour le premier et dernier étage, cette hauteur passe à 3 mètres. Nous avons appliqué cette norme standard pour calculer la hauteur des 9 bâtiments pilotes (Figure 60).

⁵⁸ Le *Código Técnico de la Edificación* (CTE) est le cadre normatif qui établit les paramètres que doivent respecter les bâtiments en relation avec les exigences minimales de sécurité et d'habitabilité décrites dans la loi 38/1999 du 5 novembre de Planification de l'Edification.

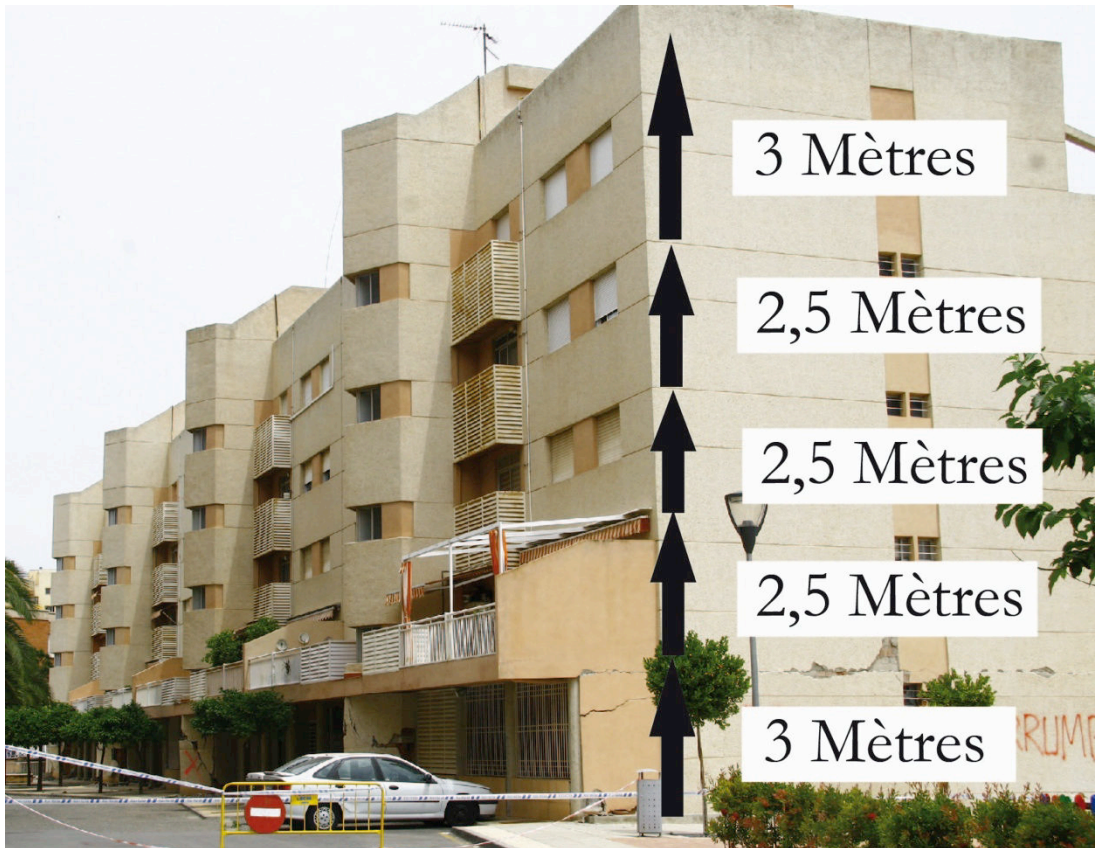


Figure 60. Exemple de calcul de hauteur de bâtiment. La hauteur totale du bâtiment de 4 étages est de 13,5 mètres. Auteur de la photo : Manuel Martin (18/04/2011).

Comme on peut le voir sur l'image suivante le toit de l'immeuble, généralement en terrasse, peut comporter des éléments architecturaux (sorties d'ascenseur ou d'escalier par exemple) (Figure 61). Dans le cas présent, les débris de ces éléments sont restés sur la terrasse elle-même. Nous n'avons donc pas pris en compte ces éléments architecturaux dans le calcul de la hauteur des bâtiments, considérant uniquement les façades. Dans ce cas précis, nous considérons donc que l'édifice possède 4 étages habités.



Figure 61. Exemple d'un bâtiment de quatre étages, avec un sortant Auteur : SISIMIMUR.

Connaissant la hauteur des bâtiments et les observations des distances maximales d'impact sur les 9 bâtiments pilotes, nous observons par la suite la relation hauteur et distance maximale d'impact.

7.2.3 Calcul de la distance maximale d'impact

Comme nous l'avons évoqué antérieurement, la logique voudrait que plus le bâtiment est grand, plus la zone d'impact soit grande par rapport à la façade du bâtiment. Cependant, sur les hauteurs de bâtiments considérés dans les 9 cas observés le tableau suivant montre que la relation entre hauteur et zone d'impact ne se vérifie pas (Tableau 8). Pour les bâtiments de 3 et 4 étages, la valeur la plus fréquente qui caractérise la zone d'impact est de 6 mètres.

Cas observés	Nombre d'étages	Hauteur bâtiment (m)	Distance maximale d'impact observé (m)
1	2	8,5	7
2	2	8,5	5
3	3	10	5
4	3	10	6
5	3	10	6
6	4	13,5	4
7	4	13,5	6
8	4	12,5	6
9	7	21	5

Tableau 8. Relation entre la hauteur des bâtiments (m) et la distance maximale d'impact observée (m). La ligne en bleu correspond au bâtiment écroulé. En orange, il s'agit de la valeur la plus fréquente.

Dans le cas de Lorca, 92% des bâtiments fragiles ont moins de 4 étages (Rodríguez et al. 2011). Ainsi, plutôt que de suivre notre intuition initiale et de créer une distance d'impact relative à la hauteur des bâtiments, il nous a semblé plus pertinent de fixer une distance maximale d'impact de 6 mètres pour tous les bâtiments, indépendamment de leur hauteur. En effet, entre la distance d'impact la plus petite et la plus grande, il y a une différence de 3 mètres. Or, une distance de 3 mètres est réellement minimale en ce qui concerne l'exposition, comme l'illustre très bien les extraits d'une vidéo trouvée sur YouTube (Figure 62). Une mère accompagnée de ses deux filles passe quelques secondes avant la secousse sous la corniche qui cèdera au moment du séisme. Deux femmes sortent du bâtiment quand les débris ne sont pas encore tombés et ils tombent quand elles sont au milieu de la route à quelques mètres seulement de la zone de débris. Trois mètres de plus ou de moins dans l'estimation de cette zone de débris ne semblent pas pouvoir changer pas fondamentalement l'évaluation de l'exposition humaine qui apparaît ici très nettement liée aux questions temporelles.

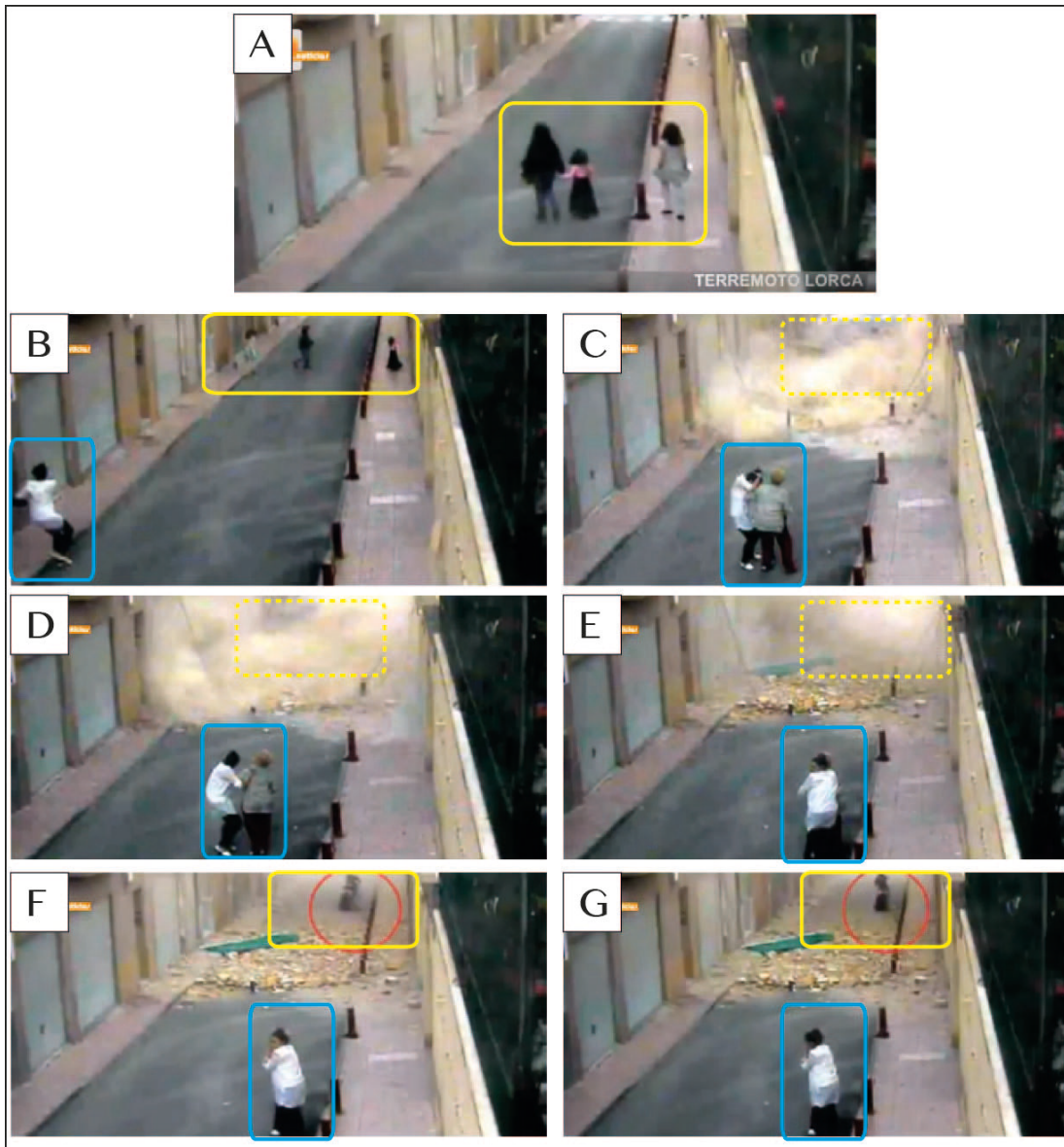


Figure 62. Images extraites d'une vidéo où nous avons deux réactions simultanées de deux groupes (bleu et jaune) de personnes au moment de la deuxième secousse. En jaune, une mère et ses deux filles qui marchent sur la voie publique. Les débris d'un bâtiment tombent à quelques mètres d'elles. Ensuite, en bleu deux personnes sortent de la maison (à gauche) immédiatement après la secousse, elles aussi évitant de très peu les débris qui s'écroulent. Source : *A92 noticias*. (https://www.youtube.com/watch?v=oRFpc_t4M7s).

7.3 Estimation de l'exposition humaine

Dans cette section il s'agit de mettre en relation les zones d'impacts telles qu'elles ont été définies et les trajectoires des individus. Nous créerons donc des zones d'impact de 6 mètres à partir de la façade des bâtiments fragiles (rouge et ruine et

examinerons quels sont les trajets qui entraînent une augmentation de l'exposition. Cette analyse nous permettra de caractériser les trajets en fonction de leur exposition successive aux bâtiments fragiles. Par la suite, nous changerons d'angle d'attaque. Au lieu de regarder les trajets, nous nous focaliserons sur les bâtiments, donc sur la source de danger, pour identifier quels sont les bâtiments les plus dangereux. Finalement, une fois que nous aurons regardé les deux facteurs séparément, nous essayerons de les combiner et de définir comment les dommages sur un bâtiment donné créent une zone de débris qui peut être traversée par un individu à un moment donné.

7.3.1 Estimation des zones d'exposition

Dans cette sous-section, nous montrons comment se traduisent les zones d'exposition sur une carte (Figure 63). Pour définir ces zones, nous attribuons à chaque bâtiment fragile (représenté spatialement par un polygone) une zone d'impact estimée de 6 mètres de large autour du bâtiment. Les zones d'exposition sont représentées en rouge quand le bâtiment concerné est classé en rouge à la suite du séisme ou en noir si le bâtiment est défini comme une ruine à la suite de l'expertise (Figure 63). Désormais, au lieu de parler de zones d'exposition créées à partir des bâtiments classés en rouge, nous parlerons de « zone rouge » ou de « zone ruine ».

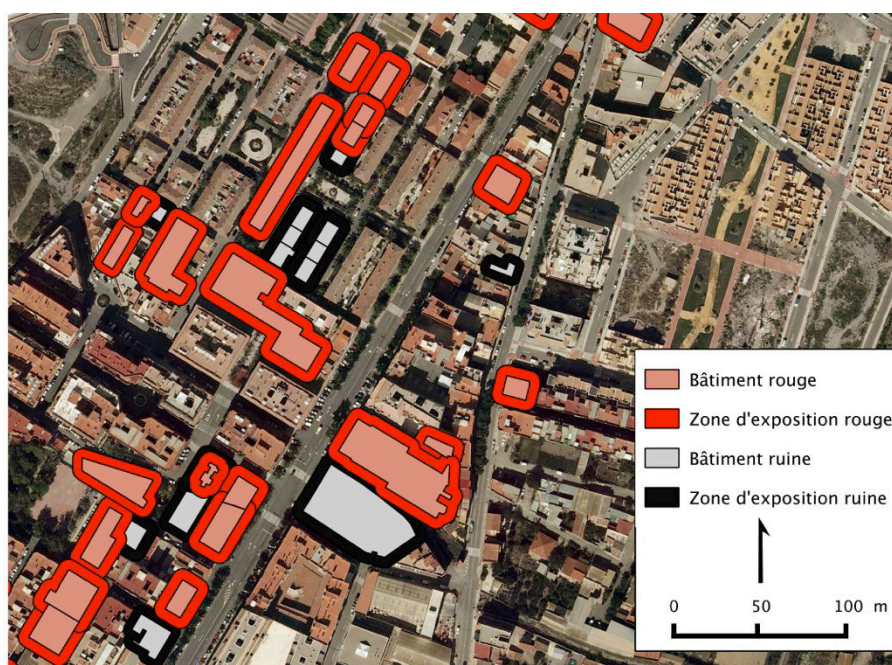


Figure 63. Zoom sur la ville de Lorca. Exemple des bâtiments classés en rouge et en ruine (selon le service d'urbanisme de Lorca) et les zones d'exposition estimées correspondantes. Réalisation : Marc Bertran Rojo 2014. Fond carte : Images PNOA del Instituto Geografico Nacional.

Une fois que nous avons toutes les zones d'exposition nous pouvons les croiser avec les individus qui se déplacent dans les rues de la ville concernées. Pour cela, la question est de savoir comment ils se déplacent : sur le trottoir de droite, de gauche ou au milieu de la route ?

7.3.2 Itinéraires individuels et zones d'exposition

Afin d'estimer les zones de croisement entre les zones exposées et les individus, nous avons estimé dans un premier temps que tous les individus marchaient au milieu de la voie publique. La première raison de ce choix est que les consignes de sécurité prescrivent de s'éloigner des bâtiments. Le point le plus éloigné des bâtiments dans une rue est bien le centre de celle-ci. Par ailleurs, nous avons utilisé des vidéos et photos enregistrées par la population suite à la secousse (Figure 64 et Figure 65 par exemple) pour vérifier si cette consigne avait été suivie lors du séisme de Lorca. La majorité des images que nous avons pu collecter sur ce thème (20 photos et vidéos) montre en effet ce type d'attitude. Enfin, il faut avoir en tête que, après le tremblement de terre, les trottoirs sont plus ou moins encombrés des débris de toutes les tailles possibles, qui naturellement poussent la plupart de la population à s'éloigner de la verticale des bâtiments.



Figure 64. Instants suite au séisme Auteur : EFE Israel Sánchez.



Figure 65 La population continue de se déplacer au centre de la voie publique 7 jours après l'événement sismique. Auteur: Manuel Martin (18/04/2011)

De plus lors de la phase de terrain à Lorca, 4 jours après la secousse, s'éloigner des balcons et des façades était aussi mon choix de préférence, surtout dans des rues étroites. En effet, la première fois que j'ai marché dans la ville après le séisme, j'ai commencé à voir de près l'état des façades et balcons. Ne me sentant pas très en sécurité, j'ai marché en priorité au milieu de la route dès que cela était possible, comme la plupart des gens d'ailleurs. Bien sûr, il n'est pas toujours possible de marcher au centre de la voie publique, soit parce que la route est complètement bloquée, coupée par les débris ou simplement parce que des voitures y circulent. Dans ces circonstances, l'individu doit prendre une décision en fonction de l'évaluation de son environnement et soit s'approcher du bâtiment qui est le moins endommagé, soit emprunter une autre voie, ou bien encore s'engager et passer le plus vite possible pour diminuer son temps d'exposition.

Dans certains cas, les individus peuvent avoir des raisons qui les poussent à s'approcher des bâtiments. Par exemple, ils veulent entrer dans leur domicile ou dans un commerce ou s'ils veulent aider ou secourir quelqu'un. Ce facteur peut entraîner des comportements inadaptés dont nous avons tenu compte lors des analyses. Ainsi, lorsque, dans le récit, un individu déclare qu'il se déplace, nous avons considéré qu'il marchait au milieu de la voie. Par contre, s'il nous informe précisément qu'à un moment il réalise une action près d'un bâtiment, nous avons enregistré cette action avec plus de précision spatiale.

il réalise une action près d'un bâtiment, nous avons enregistré cette action avec plus de précision spatiale.



Figure 66. Un individu se trouve bloqué sur la voie publique suite au tremblement de terre.
Source : temblor-sismo-terremoto.blogspot.com.

Maintenant que nous avons clarifié comment les trajets des individus et les bâtiments fragiles ont été définis, nous allons croiser spatialement et temporellement ces deux informations pour tenter de quantifier l'exposition humaine, et de comprendre comment elle varie et en fonction de quels facteurs.

7.3.3 Définition des tronçons d'exposition

A partir d'ici nous allons interpréter la fluctuation de l'exposition humaine destémoins interrogés. Cette interprétation n'a pas pour objectif d'expliquer l'exposition de l'ensemble de la population mais seulement de l'échantillon interviewé. Cela permettra de proposer des pistes d'interprétation à vérifier sur un échantillon plus important et plus représentatif de la population.

Pour cette analyse nous avons créé ce que nous avons nommé des « tronçons d'exposition », intersection entre une zone d'exposition (rouge ou ruine) et le trajet d'un individu de notre échantillon. Pour les créer, nous avons réalisé une requête spatiale pour connaître tous les déplacements qui traversent les zones d'exposition issues des bâtiments fragiles (Figure 67).

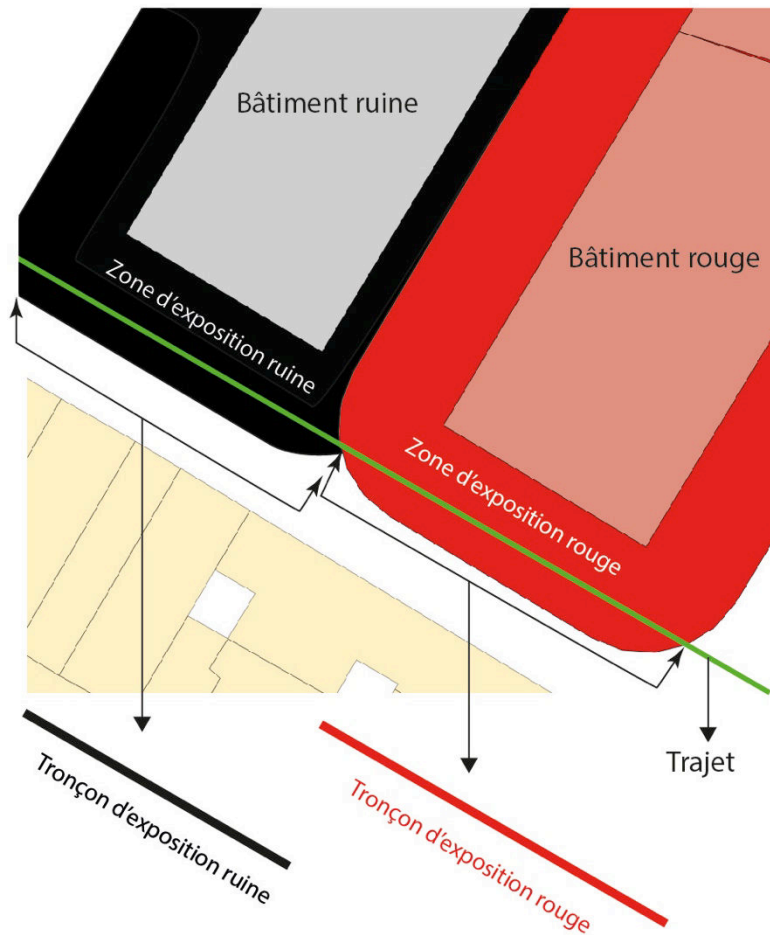


Figure 67. Définition spatiale des tronçons d'exposition.

Des 115 trajets recensés au total, nous en retenons 86, laissant de côté, ceux qui se produisent dans la période entre les secousses donc avant la secousse la plus forte. Comme nous l'avons indiqué au début du chapitre, le choix de travailler seulement avec les trajets effectués après la deuxième secousse vient du fait que les données concernant les bâtiments fragilisés ont été créées seulement après le deuxième tremblement. Parmi ces 86 trajets, 32 ont été exposés à des zones de ruine et 39 à des bâtiments classés en rouge au moins une fois car il est possible, comme nous le verrons par la suite, qu'un trajet intersecte plusieurs zones d'exposition.

Parmi les 20 entretiens réalisés auprès de la population, seulement 3 individus n'ont traversé aucune zone d'exposition (voir Tableau 9, lignes en bleues). Dans la plupart des cas, un itinéraire peut se voir affecté par plusieurs zones d'exposition. Indifféremment du nombre de trajets, nous pouvons comptabiliser le nombre de fois que les individus ont été exposés. Au total, nous avons 151 conjonctions entre trajets individuels et zones exposées, dont 49 situations d'expositions à des zones de ruine et 102 expositions à des bâtiments classés en rouge.

En regardant de manière plus individuelle, on s'aperçoit que 5 personnes cumulent à elles-seules presque 100 tronçons d'exposition et que l'un de ces individus en cumule 29 (Tableau 9). Les dimensions des tronçons d'exposition varient en fonction de la longueur de la façade. Les bâtiments fragilisés situés dans des coins de rue sont ceux où l'on observe les tronçons les plus longs (jusqu'à 73 mètres). Sur un total de trajets de presque 100 kilomètres dans la ville après le séisme, les trajets dans les zones d'impact couvrent 3,6 kilomètres (1,1 kilomètre dans des zones d'exposition de bâtiments en ruine et 2,5 kilomètres dans des zones d'exposition de bâtiments classés en rouge).

A ce stade, on peut s'interroger sur ce qui fait qu'un individu ne passe pas à côté de bâtiments fragiles alors que d'autres s'exposent plusieurs fois. Dans le (Tableau 9) nous avons voulu tester l'hypothèse suivante : plus un individu se déplace ou réalise des trajets différents, plus il s'expose. Le nombre de tronçons d'exposition associée à chaque individu constitue ainsi un indicateur de son niveau d'exposition.

Le (Tableau 9) est ordonné de manière décroissante à partir du nombre de fois que les individus se sont exposés aux bâtiments fragiles (rouge et ruine ensemble) afin de mettre en évidence les situations les plus critiques, donc les individus qui s'exposent le plus. Après la première colonne, nous avons les tronçons d'exposition rouge, ruine et la somme des deux (colonnes 2, 3 et 4). Ensuite le nombre des trajets totaux effectués, la distance totale de tous les trajets de chaque individu et enfin le pourcentage que la distance parcourue pour chaque individu représente sur la somme de toutes les distances parcourues (colonnes 5, 6 et 7). Les couleurs de chaque colonne permettent de visionner rapidement l'ordre des valeurs de chaque colonne. Ainsi, les valeurs les plus élevées de chaque colonne sont représentées en rouge et au fur et à mesure qu'elles diminuent, elles passent au orange, jaune et vert pour les plus valeurs les plus faibles.

Individu (ID)	Tronçons d'exposition rouge	Tronçons d'exposition ruine	Nombre de tronçons d'exposition rouges et ruine	Nombre de trajets effectués	Distance totale parcourue par chaque individu (mètres)	% de distance « exposée » totale des individus sur l'ensemble de leur distance totale
1	17	12	29	8	4784,0	6%
2	17	5	22	4	5388,0	7%
3	18	1	19	7	18292,0	23%
4	13	1	14	7	10808,0	14%
5	6	4	10	8	2457,0	3%
6	2	7	9	9	9043,0	12%
8	5	3	8	5	6917,0	9%
7	5	3	8	3	813,0	1%
9	6	1	7	5	1804,0	2%
11	3	3	6	4	4938,0	6%
10	3	3	6	4	3088,0	4%
12	2	2	4	1	3019,0	4%
13	2	1	3	8	3128,0	4%
14	0	3	3	3	149,0	0%
17	1	0	1	2	2087,0	3%
15	1	0	1	2	1031,0	1%
16	1	0	1	1	405,0	1%
20	0	0	0	2	397,0	1%
19	0	0	0	2	78,0	0%
18	0	0	0	1	4,0	0%
TOTAUX	102	49	151	86	78630,0	100%

Tableau 9. Tableau résumant la conjonction entre la mobilité des individus à la suite de la 2^e secousse et les bâtiments fragilisés lors du séisme. Les lignes qui commencent en bleu marquent les individus qui n'ont croisé aucune zone d'impact. Les quatre dernières colonnes présentent un dégradé des couleurs croissant. Les valeurs les plus élevées sont colorées en rouge, et les plus faibles en vert.

On s'aperçoit ainsi que si, en effet, les individus qui se déplacent peu ne croisent généralement pas de zones d'exposition, il est moins clair que ceux qui se déplacent le plus sont ceux qui s'exposent le plus. Le nombre de trajets n'est déterminant que pour ce qui concerne l'exposition humaine. Par exemple l'individu 2 a réalisé seulement 4 trajets mais c'est le deuxième à être le plus exposé alors que l'individu 13 a réalisé le double de trajets pourtant son exposition cumulée est nettement inférieure.

Dans le cas de Lorca, la variable qui explique le mieux l'exposition est la distance parcourue par chaque individu (colonne 6) (Tableau 9). Pourtant là encore on observe que certaines personnes (individu 7 et 9) se sont hautement exposées sans avoir parcouru de longues distances. On peut donc supposer que la composante spatiale est déterminante dans la caractérisation du niveau d'exposition. Même si la répartition des bâtiments fragiles semble assez homogène sur la carte (extrait dans la Figure 56 - p 163), il y a des zones plus sensibles qui contribuent à augmenter l'exposition potentielle. Ces zones correspondent-elles aux quartiers les plus endommagés ? Pour y répondre, nous allons d'abord analyser les bâtiments générateurs des tronçons d'exposition, ce qui va nous donner une idée de l'endroit où l'exposition humaine est générée. Combien de bâtiments fragiles provoquent des tronçons d'exposition ? S'agit-il des petits bâtiments ou des plus hauts ? L'échantillon observé est-il plus sensible à certains bâtiments ? Pour répondre à ces questions, nous allons regarder plus en détails les bâtiments générateurs d'exposition afin de trouver pour quelles raisons certaines zones sont plus sensibles que d'autres au sein de l'échantillon observé.

7.3.4 Caractérisation des tronçons d'exposition

Parmi les 453 bâtiments fragiles (classés rouges ou en ruine), 64 provoquent des tronçons d'exposition pour l'échantillon étudié. C'est-à-dire que ces 64 zones d'exposition sont fréquentées par la population observée, donc parmi la totalité bâtiments fragiles, 14 % sont les bâtiments responsables de l'augmentation de l'exposition de notre échantillon. Parmi ces bâtiments fragiles, on constate que les bâtiments classés en rouge sont deux fois plus nombreux que les bâtiments en ruine. De même, sur les 64 zones d'exposition, celles qui correspondent à des bâtiments rouges sont deux fois plus nombreuses que celles qui correspondent à des ruines (43 contre 21).

Par la suite, nous analysons le pourcentage de bâtiments fragiles en fonction de leur nombre d'étages (Figure 69). On s'aperçoit que 92 % des bâtiments fragiles ont moins de 4 étages.

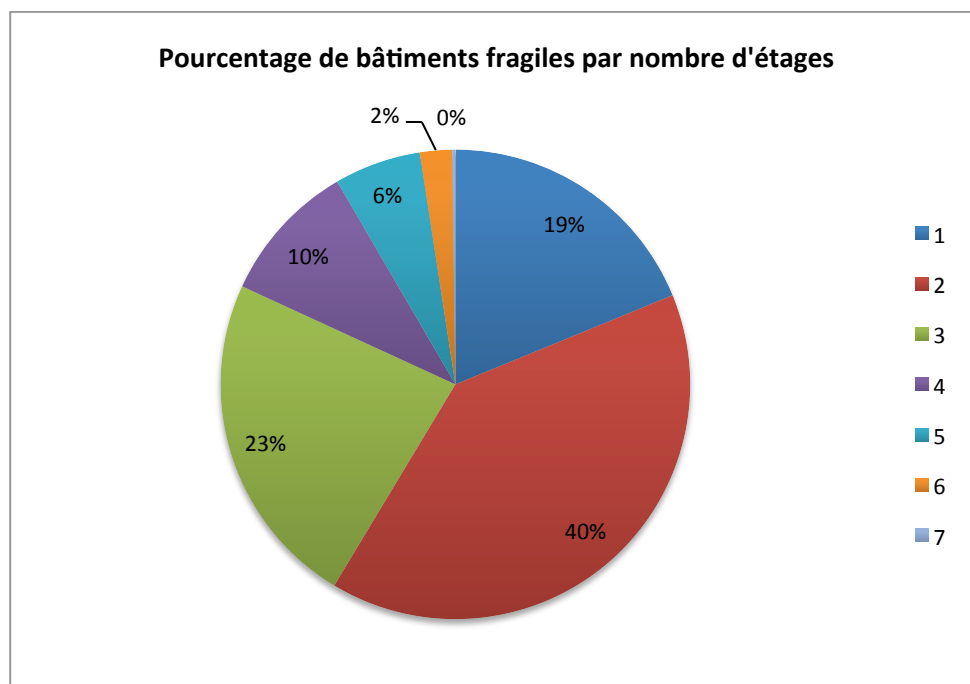


Figure 68. Pourcentage des bâtiments fragiles selon le nombre d'étages (N=453).

En regardant le nombre d'étages des bâtiments qui effectivement sont à l'origine des tronçons d'exposition, ceux entre 1 et 3 étages représentent 67% (Figure 69). Cela signifie que même si les bâtiments fragiles comptant entre 1 et 3 étages sont plus nombreux, leur « capacité » à générer des zones d'exposition est moins élevée que les bâtiments de 4 à 7 étages. Au contraire, les bâtiments fragiles de 4 et 5 étages qui représentent 16 % du total des bâtiments fragiles, ont été plus générateurs de zones d'exposition car ils représentent 37 % des bâtiments à l'origine des tronçons d'exposition. En résumé, sur l'ensemble des bâtiments fragiles, ceux de 2 et 3 étages sont plus nombreux mais ceux de 4 et 5 étages génèrent plus de zones d'exposition en proportion. Comment expliquer cela ? Est-ce parce que les individus ne passent pas sous les bâtiments de 2 et 3 étages ou parce que la taille de la voie publique fait qu'ils sont en sécurité ? Nous allons répondre à cette question dans la sous-section suivante.

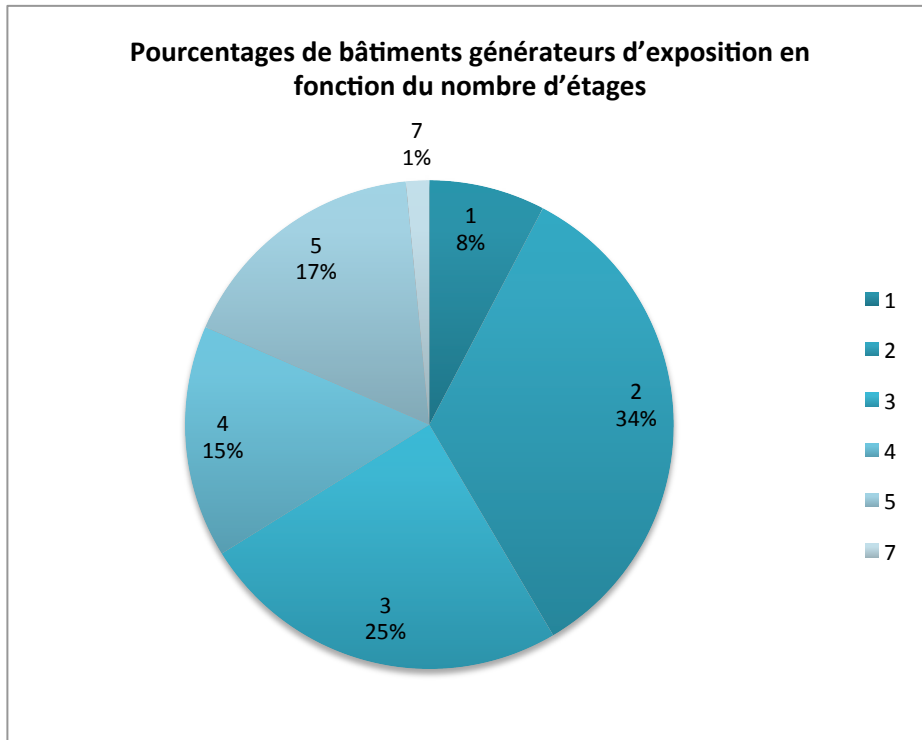


Figure 69. Proportion de bâtiments qui génèrent des zones d'exposition (traversées par les individus de l'échantillon) en fonction de nombre d'étages. Sur le graphique, la première valeur correspond au nombre d'étages des bâtiments, la deuxième est le pourcentage du nombre total de bâtiments considérés (N=64).

Comme nous l'avons montré antérieurement, (Tableau 9) nous avons 151 tronçons d'exposition. Cela veut dire que chaque bâtiment parmi les 64 qui provoquent des zones d'exposition, chacun est générateur en moyenne de 2 à 3 tronçons d'exposition. Nous nous sommes donc intéressés plus spécifiquement au nombre de tronçons d'exposition associé à chaque bâtiment en fonction de son nombre d'étages. Ainsi, calculer le nombre d'étages moyen des différents quartiers de la ville pourrait permettre d'identifier les quartiers les plus générateurs d'exposition. Cependant, il n'y a pas de fortes différences entre le nombre de tronçons d'exposition provoqués par les bâtiments de 2, 3, 4 et 5 étages (Figure 70). La valeur la plus haute reste celle des tronçons d'exposition causés par les bâtiments de 2 étages (42 tronçons) (28%), mais la différence n'est pas significative. Ainsi les bâtiments de 7 étages génèrent très peu de tronçons d'exposition et aucun bâtiment de 6 étages n'est générateur d'exposition pour notre échantillon.

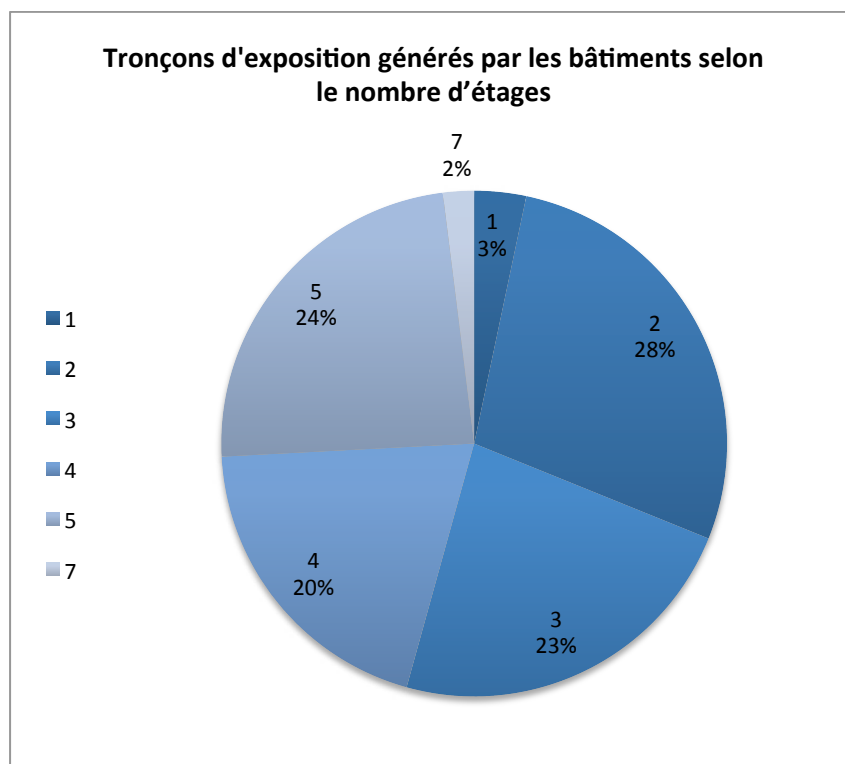


Figure 70. Proportion des tronçons d'exposition en fonction du nombre d'étages des bâtiments qui les génèrent. Sur le graphique, la première valeur correspond au nombre d'étages des bâtiments générateurs des tronçons d'exposition, et le deuxième au pourcentage de tronçons générés (N=151).

En conclusion, parmi les 453 bâtiments fragiles, 64 (14% du total) sont à l'origine des tronçons d'exposition. Plus de la moitié de ces derniers (38) sont des bâtiments de 2 et 3 étages qui provoquent la moitié des tronçons d'exposition. Les bâtiments de 2 et 3 étages génèrent donc 1,1 tronçon d'exposition en moyenne. Cependant, parmi les bâtiments restants, un tiers correspond à des bâtiments de 4 et 5 étages qui provoquent presque l'autre moitié des tronçons d'exposition. Cela veut dire que les bâtiments de 4 et 5 étages créent 1,4 tronçons d'exposition en moyenne. Donc en se basant sur échantillon d'étude, certes limité, on peut considérer qu'ils sont plus dangereux. Cette hypothèse serait à vérifier sur un échantillon plus important.

Maintenant que nous connaissons l'influence de la hauteur des bâtiments pour ce qui concerne l'évolution de l'exposition de notre échantillon, nous nous sommes demandés qu'elle est l'importance de la largeur de la voie publique en termes de protection ?

7.3.5 Largeur de la voie : facteur de détermination des zones d'exposition ?

Lorsque nous avons voulu représenter spatialement les trajets des individus à la suite du séisme, nous avons convenu que les individus se déplaçaient exactement au milieu de la route. Nous en avons déjà expliqué les raisons plus haut (7.3.2 Itinéraires individuels et zones d'exposition p 176). Nous imaginons bien que dans la réalité il est impossible que tous les individus marchent les uns après les autres au milieu de la route. Dans cette sous-section nous allons modifier ce paramètre afin d'observer quels effets cela peut avoir sur l'exposition. Cela nous permettra également d'évaluer jusqu'à quel point les zones d'impact ont été dangereuses.

Jusqu'à présent, nous avons mis en relation le nombre de tronçons d'exposition générés avec les trajets qui croisent les zones d'exposition. Théoriquement, quand un individu passe à quelques mètres d'une zone d'exposition sans la toucher, cette dernière ne fait pas augmenter l'exposition de l'individu comme dans le cas de l'exemple (A) (Figure 71). Ici il s'agit d'introduire la variable de la largeur des trajets, en modifiant cette proximité aux zones d'exposition. Si au lieu de marcher au milieu de la route ils peuvent se déplacer de 10 mètres, quels effets cela peut-il avoir sur le nombre de tronçons d'exposition ? La largeur maximale des voies à Lorca est d'une vingtaine de mètres, à exception de quelques avenues de 27 mètres. Qu'en est-il donc qui l'on considère une variation possible des trajets individuels de 20 mètres ? Dit d'une autre manière, les 151 tronçons d'exposition trouvés antérieurement pourraient-ils être plus nombreux ? Beaucoup d'individus sont-ils passés à proximité des zones d'exposition sans être suffisamment près de ces zones ? Ou au contraire, le nombre de 151 tronçons d'exposition correspond-il à un maximum possible ?

Nous proposons d'illustrer cette réflexion sur la largeur des voies comme facteur d'exposition avec la (Figure 71). Le cas (A) illustre l'hypothèse appliquée jusqu'à présent d'une circulation au milieu de la route. De ce fait, certaines personnes sont passées à côté de zones d'exposition sans les traverser. Dans le cas (B), l'individu a la possibilité de se déplacer de 5 mètres à droite et à gauche de la ligne centrale de la voie. En conséquence, il s'expose (à la différence du cas A) aux débris provenant du bâtiment en rouge sur l'image. Enfin, dans ce dernier cas (C), nous faisons l'hypothèse que la personne peut se déplacer de 20 mètres, 10 à droite et 10 à gauche de la ligne centrale de la voie. L'individu s'expose alors aux deux zones de débris figurées dans l'exemple.

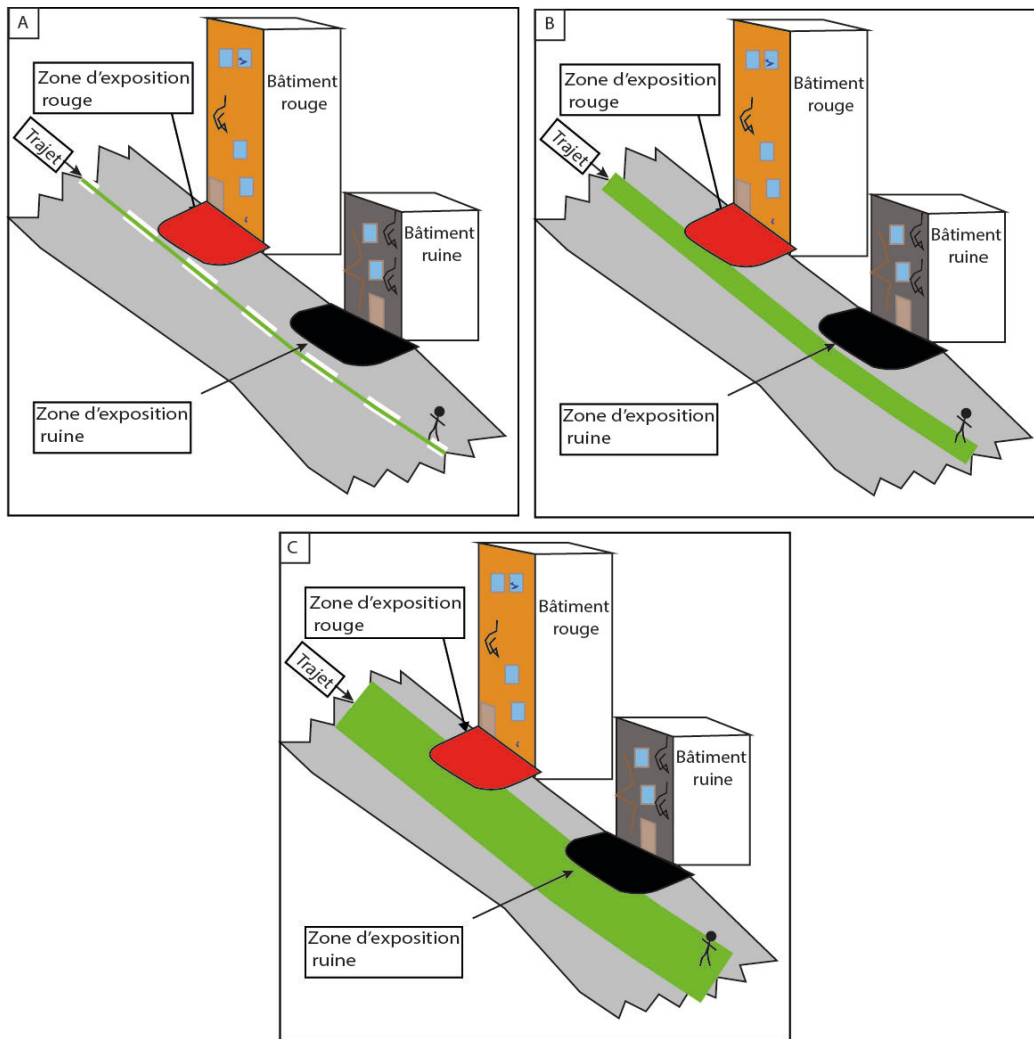


Figure 71. Synthèse de la conceptualisation de l'interaction entre l'individu et le danger. (A) Les individus marchent au milieu de la route (hypothèse initiale) (B) la trajectoire des individus peut varier par rapport à la ligne centrale de la route de 10 mètres (B) ou 20 mètres (C).

Afin d'appliquer ces différentes hypothèses au cas de Lorca, nous avons procédé de la manière suivante. A partir de la digitalisation des itinéraires, dans QGIS, nous avons créé des zones tampons sur les trajets recensés. Ces zones sont des polygones. Ensuite nous avons compté les superpositions de ces zones tampon avec les zones d'exposition. Nous montrons par la suite un exemple d'application (Figure 72).

En augmentant la largeur des trajets de 10 mètres (5 mètres à droite et 5 à gauche à partir du centre de la voie), un certain nombre de zones d'exposition vont maintenant se croiser avec les trajets (voir A dans la Figure 72). En augmentant à 20 mètres (10 mètres à droite et 10 à gauche à partir du centre de la voie) nous nous assurons que toute personne qui passe dans la même rue où il y a un bâtiment fragile va forcément voir son exposition augmenter. En prenant une variabilité possible des trajets

de 20 mètres de largeur, il est donc possible de connaître le nombre total de fois que les individus enquêtés sont passés à proximité d'un des bâtiments fragiles (voir B dans la Figure 72).

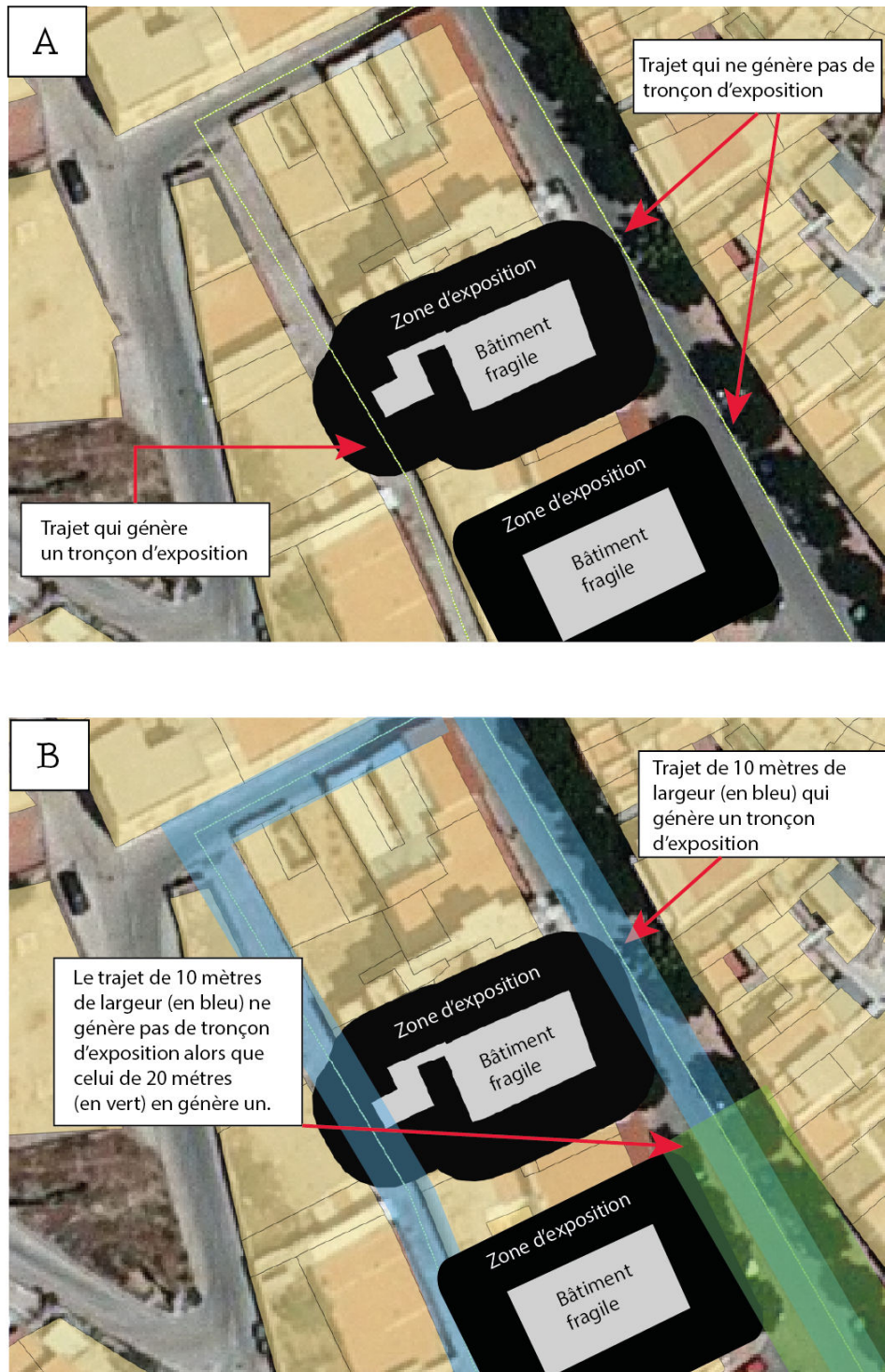


Figure 72. Synthèse sur SIG de la conceptualisation de l'interaction entre l'individu et le danger. (A) Les individus marchent au milieu de la route (hypothèse initiale) (B) la trajectoire des individus varie de 10 mètres (bleu) ou 20 mètres (vert) par rapport au milieu de la route.

En fixant la variabilité de la largeur des trajets à 10 mètres, le nombre de bâtiments concernés par les trajets individuels augmente d'un quart, soit 36 bâtiments de plus à prendre en compte dans l'analyse (Figure 73). Cette augmentation est due à une variation du nombre de bâtiments rouges et ruines pris en compte. L'augmentation du nombre de bâtiments est de 10 % pour les bâtiments rouge et de 2,6 % pour les ruines. Il est intéressant de remarquer que si l'on considère que tous les individus de notre échantillon se décalent du centre de la voie publique de 10 mètres en s'approchant des bâtiments fragiles, le nombre de zones d'exposition est doublé. L'impact est-il similaire sur le nombre de tronçons d'exposition ?

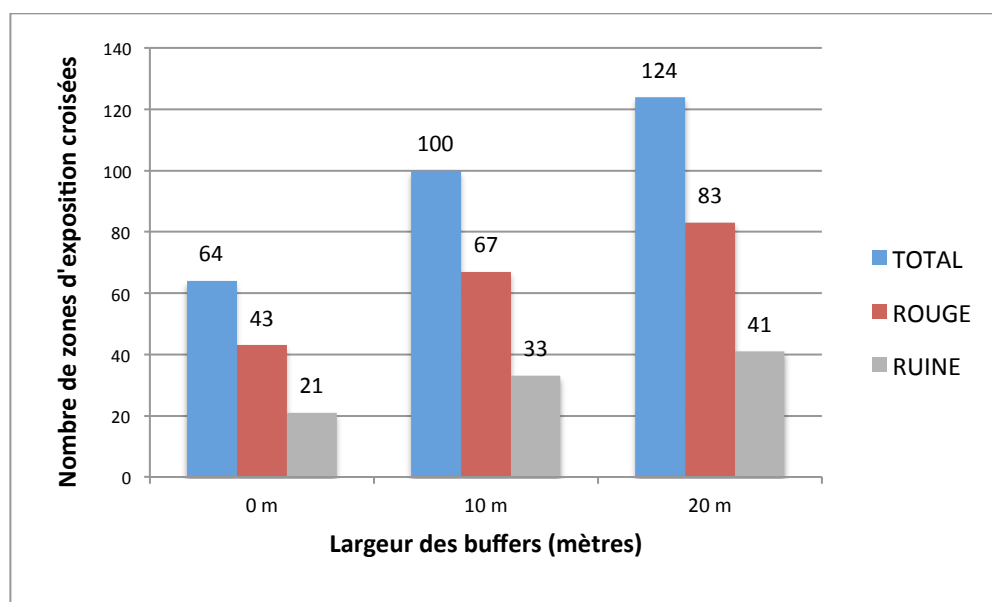


Figure 73. Nombre de zones d'exposition croisées par les individus de notre échantillon en fonction de la largeur du trajet (0, 10, 20 mètres).

L'augmentation du nombre de tronçons d'exposition est plus exagérée encore (Figure 74). Le fait de « forcer » l'échantillon à s'exposer aux bâtiments fragiles au cours de leurs itinéraires en se déplaçant de 5 mètres à droite ou à gauche fait que nous obtenons une augmentation de presque 70% de tronçons d'exposition. On passe donc de 151 à 255 tronçons d'exposition.

En prenant une variabilité de la largeur des trajets de 20 mètres, des 20 individus observés, 17 s'exposent au moins une fois aux bâtiments fragiles sur les itinéraires qu'ils ont empruntés à la suite du séisme. Au total, ils s'exposent presque 400 fois. Leurs trajets traversent 394 fois une zone d'exposition. Cela fait une moyenne de 23 fois par individu. Revenant aux individus, et à l'hypothèse qu'ils marchent l'un après l'autre en une parfaite file au milieu des voies publiques, les 17 individus passent au

maximum 394 fois à moins de 10 mètres des zones d'exposition et 255 fois à moins de 5 mètres.

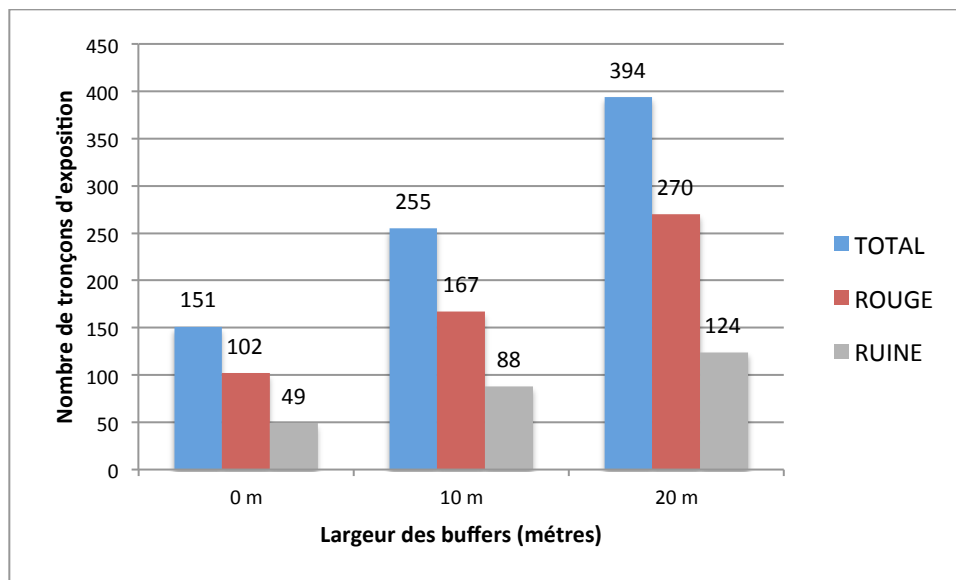


Figure 74. Nombre de tronçons d'exposition en fonction de la largeur des trajets (10 et 20 mètres).

Cette analyse met en relief la forte incertitude liée à l'évaluation de l'exposition humaine et l'importance de mieux connaître les comportements réels en développant des méthodes d'observation directe, en période de crise sismique, afin de réduire cette incertitude. On peut supposer que les bâtiments qui, dans un premier temps, ne génèrent pas de tronçons d'exposition, sont ceux situés dans les grandes avenues de plus de 10 m de large. Dans ce cas en effet, les individus ont plus de latitude pour emprunter ces voies en évitant de se mettre en danger. Une première approche de ces comportements en situation de crise est possible, bien que limitée, au travers des entretiens réalisés.

7.3.6 Facteurs de comportements humains

Durant les entretiens nous nous sommes aperçu qu'aucun individu n'avait fait demi-tour face à une voie avec des bâtiments trop fragiles par exemple. Les seuls individus qui ont modifié leur itinéraire le plus court l'ont fait avec l'intention d'avoir plus d'informations sur l'état d'un bâtiment ou pour connaître l'état de santé d'un proche. Cela veut dire qu'aucune des personnes interrogées n'a adapté son itinéraire en fonction de l'environnement perçu pour essayer de réduire leur possible exposition.

Pourtant, ce danger était bien perçu, et certains témoins ont affirmé avoir eu peur en passant au-dessus de quelques bâtiments. Certains sont même passés en courant pour réduire le temps d'exposition. De la même manière, aucun des entretiens ne fait référence à une modification d'itinéraire permettant d'emprunter des voies plus larges et d'éviter les petites ruelles plus dangereuses. Cependant la structure de la ville fait que pour se déplacer du nord au sud, il est nécessaire d'emprunter la grande avenue centrale (Figure 75). Cette avenue, d'une vingtaine de mètres est entourée des bâtiments assez hauts qui dans certains cas ont souffert des dommages importants.



Figure 75. Vue de l'avenue Juan Carlos I deux jours après la secousse depuis un de ses bâtiments. Image extraite d'une vidéo d'un habitant de Lorca. Auteur: Carlos Segura.

La carte des itinéraires construite sur le terrain ainsi que les témoignages recueillis dans les entretiens, font apparaître que, du fait des fortes contraintes qu'ils subissent au moment de l'événement, les individus cherchent en priorité à aller le plus vite possible, et donc, en empruntant le chemin le plus court quelle que soit sa dangerosité.

Conclusions

Chapitre 8 - Atouts et limites de l'analyse de l'exposition humaine aux séismes

Dans ce chapitre, nous exposons les conclusions de cette thèse. Une fois résumées les conclusions des précédents chapitres, nous revenons sur la problématique et apportons des éléments de réponse appliqués au terrain d'étude de Lorca. Nous proposons également un bilan méthodologique étant donné l'importance de cet aspect dans notre travail.

8.1 Ce que révèle le cas de Lorca

Dans cette première section, nous nous focalisons sur les résultats des analyses spatiotemporelles effectués sur notre terrain d'étude.

8.1.1 Le rôle central de la mobilité en période de crise sismique

En période de crise sismique, la mobilité individuelle augmente. Nous l'observons à travers notre échantillon, à partir des entretiens conduits auprès des services de sécurité, et à partir du corpus de photos et de vidéos recueilli. Cependant, en l'absence de données très détaillées et compte tenu de notre faible échantillon, il n'est pas possible de quantifier cette augmentation. De plus, on observe que suite aux deux séismes, il y a eu une augmentation soudaine des déplacements très courts, inférieurs à deux minutes.

Le premier séisme a provoqué chez la moitié des enquêtés se trouvant dans les bâtiments une sortie vers l'extérieur afin de se protéger. Mais il s'agit d'une mise en

protection partielle puisqu'à l'exception de 3 enquêtés, elle n'est pas suivie d'un éloignement des bâtiments, comme cela est pourtant indiqué dans la plupart des consignes de sécurité à suivre après un épisode sismique. Sortir des bâtiments est lié aussi à une volonté de s'informer, de mieux connaître ce qui s'est passé, de voir de ses propres yeux les dégâts provoqués par le premier séisme. La période entre les deux secousses est extrêmement intéressante. Les échanges entre personnes commencent à créer une atmosphère propice aux rumeurs. Le déploiement des services de sécurité a renforcé cette rumeur, puisque la population leur a associé l'idée selon laquelle un second séisme allait se produire. Certains individus qui n'étaient pas sortis lors de la première secousse reçoivent des alertes de la part de leurs proches. Certains sont méfiants vis-à-vis de ces rumeurs, d'autres ne savent pas quoi en penser. Ce séisme provoque un premier rassemblement des familles. A l'inverse, certains témoins, même s'ils reconnaissent que ce séisme a été plus fort que tous ceux qu'ils avaient ressentis antérieurement, ne sont pas inquiets et font tout le nécessaire pour retourner à leur quotidien.

Le deuxième séisme - qui provoque la plupart des pertes matérielles et des dommages corporels - se produit dans ce contexte. Un bâtiment s'écroule complètement et des éléments de façade, comme des corniches, des murs ou des éléments ornementaux dans le cas des bâtiments religieux s'effondrent sur la voie publique. Cela se produit de manière concomitante à la sortie en panique des personnes encore présentes dans les bâtiments, provoquant ainsi une coïncidence spatiale et temporelle entre le danger et les individus. Au bilan, 9 morts et des centaines de blessés. En considérant que les deux secousses ont généré une même période de temps post-séisme (101 minutes), ce deuxième séisme a provoqué un nombre de déplacements légèrement supérieur au premier. Immédiatement après la secousse, nous identifions un pic de mobilité lié au fait que les individus sortent des bâtiments mais se déplacent également cette fois-ci rapidement vers des espaces ouverts, éloignés des bâtiments. Pendant cette période, la grande majorité des témoins étaient présents dans ces espaces ouverts : 14 personnes sur 20 interrogées à 19H45. En effet, la recherche d'un espace protégé devient une priorité. Pourtant, quatre individus sont encore à l'intérieur des bâtiments et un flux important se trouve également sur les voies publiques, donc entre les bâtiments. Les raisons en sont diverses, mais relèvent le plus souvent de l'aide à des proches vulnérables (à mobilité réduite notamment), de regroupements familiaux et de l'organisation de l'évacuation à venir.

Enfin, la période finale est dominée par une évacuation graduelle, avec un pic entre 20H et 22H30. Durant cette période, il y a beaucoup moins des trajets mais ils sont plus longs et indiquent l'évacuation hors de la ville. Le nombre de témoins sur la voie publique reste important avec des oscillations et une tendance à la baisse. Un témoin reste dans sa maison et d'autres font de courtes entrées dans des bâtiments afin de gérer la logistique nécessaire à l'évacuation (aller chercher les clefs de la résidence secondaire, ou de la voiture ou des vêtements). Au total, 15 personnes évacuent et seulement 10 vont parcourir une distance supérieure à 18 kilomètres.

Il est intéressant de noter comment le fait d'ordonner les informations qualitatives sur un plan spatial et temporel nous permet une comparaison qui nous offre une vision d'ensemble extrêmement riche malgré le faible nombre de témoins enquêtés.

8.1.2 Le séisme précurseur, une chance ?

Il paraît impossible de connaître avec exactitude le bilan des dommages corporels qu'on aurait pu compter en l'absence du séisme précurseur. En guise de conclusion, nous allons donc essayer d'identifier pour quelles raisons certains rapports décrivent le séisme précurseur comme une chance (Alfaro et al. 2011; Rodríguez et al. 2011; Díaz 2012; Santamaría, López, et Alguacil 2012). Un seul article affirme que si les personnes avaient été chez elles au moment de la seconde secousse, il y aurait eu moins de victimes « *Con seguridad, si hubieran permanecido dentro de los edificios, el número de muertos habría sido menor* » (Salcedo Hernández et Campesino Fernández 2012).

Dans certains cas précis, le premier séisme a effectivement servi d'alerte. On peut rappeler ici l'exemple du prêtre qui a annulé un cours de catéchisme qui allait avoir lieu dans une partie de l'église qui s'est partiellement effondrée (Figure 22 - p 87). Nous pourrions aussi rappeler l'exemple de la salle multisports utilisée par les scolaires qui a été complètement évacuée à la suite de la première secousse.

En parallèle, le séisme précurseur a provoqué, comme nous l'avons déjà montré (6.3 L'évolution de l'exposition individuelle dans le temps p 140), une augmentation des déplacements, notamment des déplacements courts, inférieurs à deux minutes. Ces déplacements ont servi dans plusieurs cas à sortir des bâtiments. Tous les individus qui se trouvent dans la rue discutent de ce qui s'est passé, de comment ils ont ressenti la secousse, les objets qui sont tombés chez eux. D'autres se déplacent pour évaluer les quelques dommages sur les bâtiments. L'inquiétude donne lieu aux rumeurs qui affirment que les services de sécurité ont alerté qu'un autre séisme plus fort allait arriver. Cela a provoqué deux types de déplacements. Premièrement, ceux qui avaient peur des répliques et qui se trouvaient déjà sur la voie publique, ont eu tendance à rejoindre des espaces ouverts. Selon plusieurs témoins, les jardins et places ont été largement occupés après le premier séisme et dans ce cas, on peut considérer que la première secousse fut une chance. Au contraire, d'autres personnes qui avaient initialement décidé de continuer leurs activités quotidiennes après le premier séisme sont finalement sorties des bâtiments, alertées par les rumeurs et par les mouvements de masse. Enfin, certains ont préféré rester dans leurs habitations, soit par choix, soit par contrainte (personnes à mobilité réduite). En résumé, il est certain que le premier séisme a fait sortir du quotidien la plupart des individus en les mettant dans une situation comparable à une *semi-alerte*. *Semi-alerte* seulement, car certains n'ont pas cru nécessaire de se rendre dans des espaces ouverts. Ils ont ressenti le besoin de sortir de chez eux mais la mise en protection s'est arrêtée là. De fait, le nombre d'individus se trouvant sur

la voie publique au moment du deuxième séisme était plus élevé que la normale, aggravant l'exposition.

Néanmoins, un autre facteur a pu contribuer à limiter cette exposition humaine lors de la seconde secousse. Il s'agit de l'intervention rapide des services de sécurité. En effet, le premier séisme a provoqué l'activation du *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia (SISMIMUR)*, Niveau 1. Cela signifie que la région de Murcia pouvait assurer la protection des biens et personnes (González López 2012). Ainsi, au moment de la deuxième secousse, plusieurs services de sécurité se trouvaient déjà dans la ville et ils ont pu réaliser les premières interventions de manière immédiate. Selon les témoins, les services de sécurité ont préconisé le déplacement vers les espaces ouverts et l'évacuation des bâtiments. Comme on l'a vu, le phénomène de propagation de rumeurs a quelque peu perturbé le message transmis par les services de sécurité, prenant le dessus sur les consignes de sécurité. Ainsi, cela a provoqué des déplacements depuis les espaces ouverts. Il n'en reste pas moins que le fait que les services se trouvaient déjà en place au moment du second séisme a réduit sensiblement la vulnérabilité sociale. La rapidité d'intervention des secours constitue en effet un facteur déterminant révélé par de nombreuses analyses épidémiologiques qui montrent qu'agir vite réduit le nombre de victimes (Coburn, Spence, et Pomonis 1992; Wagner, Jones, et Smith 1994).

Ainsi, les raisons qui nous font penser que le premier séisme a pu aggraver le nombre de victimes sont très largement contrebalancées par les avantages que cette première secousse a pu procurer. En effet elle a sans doute fragilisé certains bâtiments, même si nous ne sommes pas en mesure de quantifier jusqu'à quel point cela a eu une incidence sur les dommages lors du deuxième séisme. Elle a provoqué une affluence de population sur la voie publique et on peut imaginer que si le deuxième séisme avait eu lieu quelques minutes après le premier, le nombre de victimes aurait été beaucoup plus important (Alfaro et al. 2011). Cependant le premier séisme a en contrepartie permis la présence des services de sécurité sur les lieux, la prise de conscience du danger au travers des dégâts déjà visibles sur les façades. Cette prise de conscience a amené certains des témoins interrogés à modifier leurs emplois du temps usuels, à annuler certaines leurs activités et à rejoindre des espaces ouverts pour se mettre en sécurité. En conclusion on peut affirmer que le premier séisme a réellement servi d'alerte et a engendré plus de facteurs réducteurs de l'exposition humaine et de la vulnérabilité sociale que de facteurs aggravants.

8.1.3 Dommages non-structuraux peu étudiés

Ce point de conclusion est un pont vers les perspectives qui seront développées. Il est lié au fait que toutes les victimes lors du séisme de Lorca l'aient été sur la voie publique, à cause des éléments de façade qui se sont détachés des bâtiments.

Nous avons cherché dans la bibliographie quelles étaient les études qui s'intéressaient à ces victimes en particulier. Nous nous sommes aperçu que la nature des décès variait selon le type de séismes : par effondrement des bâtiments dans le cas de séismes importants (Coburn, Spence, et Pomonis 1992), par chutes d'éléments non structuraux dans le cas de séismes d'intensité modérée (Camelbeek, Barszez, et Plumier 2006).

Plusieurs rapports techniques ont analysé les fragilités dans les bâtiments qui peuvent céder en cas de séisme, ainsi que les facteurs qui peuvent déterminer le nombre de victimes dans ces bâtiments. Du côté des dégâts humains, (Coburn, Spence, et Pomonis 1992) déterminent 5 facteurs pouvant faire varier le nombre de morts et de blessés :

- le nombre d'individus par bâtiment,
- l'occupation du bâtiment au moment du séisme,
- le nombre d'occupants piégés dans la structure effondrée,
- le type de blessures,
- le nombre de morts juste après effondrement.

Mais que sait-on sur les éléments non structuraux ? Quels sont les facteurs qui peuvent faire varier le nombre de morts et les lieux où se produisent les décès ? Il est très difficile de répondre à cette question. Lorsque les ingénieurs structure s'intéressent aux éléments non structuraux, ils le font de manière quantitative, en comptabilisant tous les dommages sur les structures, le nombre de victimes, la cause des décès. La seule source de danger étudiée en détail concerne les effondrements, et on connaît peu les facteurs qui interviennent dans la chute d'éléments non structuraux notamment à l'extérieur des bâtiments.

Nous avons fait ici l'hypothèse que la hauteur des bâtiments pouvait constituer l'un des facteurs possible de variation de l'exposition. L'étude est menée sur un nombre de cas trop restreint pour pouvoir être généralisée, néanmoins la relation entre hauteur et distance maximale d'impact n'apparaît pas évidente. Une analyse plus fouillée de cette relation, s'appuyant sur un nombre de cas plus important serait cependant nécessaire pour vérifier ces premiers éléments. En outre, il serait intéressant d'associer des spécialistes (ingénieurs structures notamment) pour travailler cette question de manière plus approfondie.

8.2 Bilan méthodologique

Notre travail de thèse est un retour d'expérience mais aussi une proposition d'adaptation méthodologique pour analyser le processus de fluctuation de l'exposition humaine en période de crise sismique dans le cas du séisme de Lorca. Nous faisons un bilan des particularités de ces méthodologies adaptées ou bien créées.

8.2.1 Une proposition méthodologique sur un petit échantillon

Dans ce premier point, nous souhaitons revenir sur la taille de l'échantillon, en regardant les avantages et inconvénients d'une telle étude qualitative sur un échantillon réduit. C'est un aspect important que nous n'avons jamais négligé, en essayant toujours de conserver dans l'analyse une cohérence entre l'étude réalisée, le traitement des données, et les conclusions qui en sont issues. Plusieurs raisons nous ont empêché de réaliser une étude avec un échantillon plus important. Parmi celles-ci, une période d'enquête relativement courte (15 jours), des enquêtes plus denses et plus longues qu'initialement imaginé, ainsi qu'une étude plus large, spatialement et temporellement parlant. L'étude fine des 20 entretiens a été longue, comme c'est généralement le cas pour ces analyses exploratoires. Il aurait été très difficile de réaliser les mêmes analyses sur un échantillon plus important. Par ailleurs, cette phase d'exploration vise résolument à privilégier la diversité des situations et l'analyse approfondie de leurs caractéristiques. Elle constitue un point de départ et permet de former des hypothèses pour la mise en œuvre d'approches plus quantitatives.

Notre travail de thèse peut donc être considéré comme un travail exploratoire au sein des analyses de la mobilité et de l'exposition en période de crise sismique. Elle permet de faire émerger plusieurs hypothèses de travail qui devront être validées dans une phase d'analyse plus quantitative. Ces hypothèses sont les suivantes :

- les mobilités courtes dans les minutes qui suivent la secousse jouent un rôle central comme facteur aggravant de l'exposition humaine ;
- l'évacuation d'une ville à la suite d'un séisme est un processus lent (plusieurs heures) durant lequel l'exposition reste très élevée ;
- la voie publique constitue l'un des lieux où l'exposition est la plus importante dans les minutes et dans les heures qui suivent une secousse. Malheureusement, les facteurs de danger de cette exposition spécifiques sont encore mal connus et restent à approfondir ;
- les séismes précurseurs peuvent dans certains cas servir l'alerte et modifier favorablement les comportements. Cependant, les facteurs qui permettent de prendre au sérieux ces signes précurseurs et de déclencher une adaptation sont encore mal connus et restent à approfondir.

Nous prétendons donner à l'individu un rôle actif dans la construction de la notion d'exposition humaine. Comme nous l'avons dit à plusieurs reprises, nous envisageons l'exposition humaine comme la coïncidence spatiale et temporelle entre un individu et un danger. Avec cette thèse, nous voulons pointer du doigt que la communauté scientifique s'est davantage intéressée à la construction de la notion de

danger, même si certains facteurs sont encore à approfondir. A notre sens, l'analyse du croisement entre pratiques individuelles et danger doit être renforcée. Le dernier chapitre de la thèse propose une méthodologie d'évaluation de l'exposition humaine. Analyser comment varie l'exposition des personnes à proximité des bâtiments fragiles a été une tâche complexe même avec un petit échantillon et en intégrant un nombre très limité de facteurs (hauteur des bâtiments, largeur de la voie publique et bâtiments classés en rouge ou ruine). Cependant, nous proposons une piste de recherche qui nécessite des travaux pluridisciplinaires, mettant en relation des experts des dommages sur les bâtiments et des chercheurs intéressés par la composante humaine, notamment en termes d'adaptation. Comprendre dans leur intégralité la complexité des processus psychosociaux qui amènent des personnes à agir comme elles le font en situation de séisme demande encore beaucoup de travaux et nous sommes persuadé qu'il faut aller dans ce sens. Certains travaux sont déjà engagés sur cette voie pour d'autres risques (Lutoff 2013; Ruin et Lutoff 2004; Ruin 2007). La question de l'accès aux données est ici centrale. Comment observer les comportements sociaux en situation d'urgence ? Nous adhérons aux récentes initiatives qui ont pour objectif de valoriser toutes les formes et sources de données graphiques qui apparaissent lors des événements. La plupart des images que nous avons utilisées ont été mises à disposition via internet et n'avaient à la base aucune vocation scientifique. Elles nous ont été cependant très utiles pour l'analyse. L'utilisation de ces nouveaux supports (photos et vidéos, discussions sur les réseaux sociaux notamment) sont de plus en plus nombreux dans la société des nouvelles technologies de l'information et du partage de cette information. Leur utilisation comme sources de données scientifiques est aujourd'hui posée et mérite une attention soutenue.

Au travers de cette thèse, nous avons par ailleurs produit une critique de l'approche statique des études de vulnérabilité sociale aux séismes. Nous avons souhaité montrer la grande complexité des facteurs qui font varier l'exposition humaine en période de crise sismique. Il est évident que notre échantillon n'est que peu représentatif des 60.000 personnes qui se sont vu affectées par le séisme de Lorca ou encore des 40.000 qui ont dû évacuer la ville. Cependant, il nous a permis de mettre en avant certains facteurs déterminants d'exposition pour lesquels il existe un vrai manque d'informations et d'analyses. C'est le cas des études des éléments non structuraux, de la manière dont ces éléments impactent la voie publique, de la façon dont les séismes précurseurs peuvent faire changer la configuration d'une ville lors d'un séisme plus important, ou encore, comment se fait l'évacuation d'une ville suite à un tremblement de terre.

Grâce à cette méthodologie qualitative, nous avons pu analyser comment chaque individu interprète la réalité dans une période traumatique de sa vie.

Ainsi, nous avons été capable d'identifier certains comportements qui contribuent à aggraver l'exposition humaine. Par exemple, les regroupements familiaux rallongent le temps d'évacuation et donc le temps passé dans la ville à proximité des bâtiments fragiles. De la même manière, nous avons été capable de créer des indicateurs

qui nous aident à comprendre la mobilité spécifique en période de crise sismique mais aussi comment cette mobilité fait augmenter l'exposition humaine, comme par exemple le nombre de tronçons d'exposition par individu. Nous montrons comment ces indicateurs ont été construits et quelques exemples de traitement.

Enfin, nous nous sommes aperçu que même si 20 individus peuvent apparaître comme un petit échantillon, ils sont, pour certains constats, suffisants. Par exemple, à notre sens, il n'était pas nécessaire de réaliser plus d'entretiens pour affirmer que le rôle des services de sécurité a été très bien perçu par la population. De la même manière, les rumeurs après le premier séisme ont modifié le comportement de certains individus même s'il est vrai que nous ne sommes pas capables de quantifier leur effet.

8.2.2 Transfert entre risques

Comme nous l'avons expliqué tout au long de cette thèse, la méthodologie que nous avons utilisée a été créée à l'origine pour l'étude de la vulnérabilité sociale aux crues rapides (Creutin et al. 2009). J'ai eu l'occasion de travailler sur cette problématique avant de commencer la thèse. La question de la transférabilité de la méthode à un autre type de phénomène se pose et nous souhaitons ici y apporter des éléments de réponse par un compte rendu des principales différences que nous avons pu soulever dans l'analyse de ces deux types de risques.

Les phénomènes sismiques et les crues rapides présentent des similitudes quant à la soudaineté des événements. L'adaptation de la grille d'entretien pour l'analyse de la mobilité en période de crise sismique n'a donc pas présenté de problèmes particuliers. Il suffit de définir à l'avance la période de crise ciblée et ainsi de déterminer la précision temporelle à retenir. Pour le séisme de Lorca, les circonstances de l'évènement font que la zone touchée a été très circonscrite et la consigne d'évacuation a été très claire. Cela a facilité l'analyse étant donné qu'il n'y a pas eu plusieurs interprétations du niveau de crise.

A la différence du cas de Lorca, lors de crues rapides, la population ne reçoit pas les signaux de dangers de manière aussi brutale et uniforme, spatialement et temporellement. En effet, face à une crue rapide, le passage du quotidien à une situation de crise ne se fait pas de manière homogène et au même moment selon la taille du bassin versant dans lequel on se trouve (Creutin et al, 2013). L'asynchronicité constitue en effet l'une des caractéristiques des crues rapides, contrairement au séisme.

Néanmoins, un point commun que l'on retrouve dans les deux cas est la nature des choix individuels des témoins qui induisent une augmentation de l'exposition. Traverser un cours d'eau en crue avec une voiture relève, en dernière instance, d'un choix personnel qui nécessite une analyse précise du contexte d'action. A une échelle

plus large, il convient également de comprendre les raisons qui amènent l'individu à se retrouver face à ce cours d'eau. Ces recherches sont à l'origine de publications récentes (Lutoff 2013; Ruin et al. 2008). Ce moment précis d'exposition où l'individu décide d'accélérer et essayer de traverser le cours d'eau, nous le retrouvons également dans le cas de Lorca. Au moment de la secousse, les réactions immédiates qui ont provoqué les morts trouvent leur origine dans les réflexes immédiats, dans les expériences vécues et dans les connaissances acquises auparavant. Ces réactions sont comparables à celles d'un individu face à un cours d'eau. Après une secousse, les bâtiments sont visiblement fragilisés, et la probabilité de répliques est réelle et généralement connue (dans le cas de Lorca en tout cas). Pour quelles raisons les personnes décident-elles de passer à proximité de ces bâtiments pendant les quelques heures qui les séparent de l'évaluation complète de la ville ?

A notre avis, nous pourrions classer toutes les raisons qui amènent un individu à s'exposer en fonction du but de l'action. On distinguerait d'un côté les décisions qui relèvent de la *mise en protection extrême*. Si, par exemple, un individu se trouve entre deux cours d'eaux en crue et s'il considère que s'engager dans la traversée de l'un des deux cours d'eaux est préférable que d'attendre que les eaux montent des deux côtés, alors il va traverser. De la même manière, si un individu se trouve dans un espace ouvert dans la ville et que sa seule manière d'en sortir est de passer à proximité des bâtiments, il va surement le faire et ainsi s'exposer. Ces décisions vont aggraver l'exposition durant un temps donné mais avec l'objectif de s'éloigner du danger. Ainsi cette première catégorie englobe toutes les actions qui ont comme seul objectif de « se sauver ».

Une autre catégorie relève plus pour nous d'une *hiérarchisation des priorités*. Imaginons qu'un individu se trouve dans un espace sécurisé ouvert (cas des séismes) ou sur un point haut (crues rapides) et retourne chez lui (au milieu de la ville ou à côté du cours d'eau) pour mettre en sécurité certains objets. Cette décision relève d'une réflexion plus complexe entre l'évaluation du danger et l'organisation mentale des priorités. Dans ce domaine, les études en psychologie environnementale peuvent être utiles pour mieux comprendre les processus en jeu.

Sur la base des travaux centrés sur les crues rapides, cette étude de l'exposition aux séismes invite donc à revisiter la vulnérabilité sociale aux séismes et met l'accent sur certaines des questions scientifiques qui restent à résoudre : d'un côté concernant l'évaluation du danger sur la voie publique et de l'autre concernant les comportements individuels et les raisons en amont qui les amènent à s'exposer.

8.2.3 Entretiens précurseurs : révélateurs de comportements spécifiques

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre référent à la méthodologie, avant d'aller sur le terrain, nous avons réalisé 7 entretiens afin de tester la grille

d'entretien. Même si nous avons déjà utilisé cette dernière pour l'analyse de la mobilité en période hydrométéorologique perturbée, nous voulions essayer de prévoir les problèmes possibles lors des entretiens concernant les crises sismiques. Nous avons souhaité en faire un point de conclusion afin de donner des pistes sur des travaux sur les risques issus des comportements projetés. Les études sur les comportements projetés sont fondées sur les déclarations d'intentions des individus face à des scénarios souvent fictifs. Notre étude préliminaire était un peu différente car le scénario existait déjà et avait été créé par l'événement. Nous avons donc fait rejouer cet événement très riche en détails à des individus qui ne l'avaient pas vécu.

Une des principales remarques que nous ont permis ces enquêtes préliminaires, est que même face à un tremblement de terre fictif, on observe une augmentation du nombre de trajets courts, ce qui nous a décidé à travailler au pas de temps de la minute.

Même si les personnes qui se sont prêtées à ces enquêtes préalables avaient vu les nouvelles télévisées, des vidéos et connaissaient très bien ce qui s'était passé à Lorca, les détails des récits fictifs étaient extrêmement dilués et l'information fournie restait très générale. Au contraire, dans les enquêtes réelles, le niveau de détail est extrêmement fin. L'aspect traumatique de l'expérience renforce la quantité et le niveau de détail des informations collectées.

Un autre aspect qui différencie énormément les enquêtes réelles et fictives est lié à la rationalité des actions, et notamment à la posture vis-à-vis des consignes de sécurité. En effet, les témoins fictifs se sont tous vus capables de réagir de manière calme et posée, pouvant expliquer toutes les actions depuis une vision et selon un raisonnement rationnels. Cependant, dans la réalité, la peur et le stress font réagir les individus d'une manière telle qu'ils se demandent à posteriori pour quelle raison ils ont réagi comme cela. Il apparaît donc difficile que des individus n'ayant pas vécu la situation traumatique en question, arrivent à s'imaginer comment ils réagiraient pendant ou après un séisme. À l'inverse, cela révèle que l'outil d'enquête utilisé permet réellement de recueillir le récit de ce qui a été vécu de manière brute, sans qu'une analyse réflexive n'ait modifié les discours en vue d'une meilleure rationalisation des actions.

8.2.4 Complémentarité des approches qualitative et quantitative

Notre principale source de données a été obtenue à partir des enquêtes qualitatives. Cependant, comme nous avons pu le constater, nous pouvons réaliser certaines analyses quantitatives, notamment grâce aux repères spatiaux et temporels collectés sur le terrain. Joindre à chaque information un lieu et un moment précis de l'action rend possible la comparaison des discours qualitatifs. Par ailleurs, nous avons pu y joindre un grand nombre d'informations supplémentaires également spatiotemporelles concernant les actions des services de sécurité par exemple. Dans le cas qui nous

concerne, les informations temporelles peuvent être assez précises étant donné que les deux secousses servent de repères communs à tous les témoignages

La méthodologie mise en œuvre permet d'avoir une vision précise des actions entreprises par les individus au moment de l'événement. Le fait de se baser sur un discours ouvert permet non seulement de connaître les actions de cet individu, mais également celles de son entourage, généralement son cercle familial proche. De la même manière, quand nous les interrogeons sur leur environnement, sur ce qu'ils voient et ce qui les choque, nous pouvons nous imaginer l'état de la ville et de ses habitants dans ces moments particuliers de l'après-crise.

Ainsi, en analysant les différents discours notamment par le biais des actogrammes (Chapitre 6 - Mobilité et exposition dans le temps p 119) nous sommes capables, à partir des 20 entretiens auprès de la population, d'identifier les principaux comportements qui apparaissent ainsi que leurs facteurs explicatifs. Par exemple, nous avons pu vérifier qu'il existe une concordance entre le nombre d'activités réalisées par chaque individu, et leur manière d'évacuer la ville. Les personnes qui évacuent la ville avec un nombre de proches important réalisent un grand nombre de trajets et d'activités avant l'évacuation, qui s'effectue souvent tardivement. Cependant et comme nous l'avons déjà indiqué, la principale limite de notre méthodologie est liée à notre faible échantillon. En résumé, nous sommes capables d'identifier plusieurs comportements et réactions, cependant nous ne pouvons pas évaluer quels sont les comportements les plus communs ou les plus rares.

L'analyse à partir des actogrammes nous apporte une vision particulièrement intéressante du cas de Lorca. Ce type de représentations nécessite un énorme travail initial de codage et de mise en forme, notamment la première fois. Cependant par la suite, et en conviant les différentes données initialement introduites, il est possible de réaliser plusieurs analyses sans beaucoup d'efforts supplémentaires. En conclusion, ce mode de représentation se révèle très utile pour toutes les analyses quantitatives qu'il permet de réaliser par la suite.

Nous avons pu démontrer que l'analyse de la mobilité à partir des actogrammes n'est pas déconnectée de l'exposition humaine même si nous n'intégrons pas des données des dommages sur les édifications. En effet, on sait qu'être à l'intérieur des bâtiments ou sur la voie publique à proximité d'un bâtiment fragilisé aggrave l'exposition. Ainsi connaître les flux entre les espaces de la ville et les expositions qui y sont associées donne une vision d'ensemble du déroulé de l'évènement et permet de poser les bases pour des recherches plus approfondies concernant les phases critiques, encore peu étudiées.

Dans notre cas, nous nous sommes interrogé sur l'espace qui a concentré le plus de victimes, la voie publique, en nous demandant : quels sont les bâtiments fragiles ? A quelle distance une personne peut-elle être considérée comme exposée ? Quand est-elle exposée ? Nous nous sommes aperçu qu'il est difficile d'intégrer

informations spatiales et temporelles. En effet, même si nous avons recueilli les informations horaires concernant les trajets, ces informations sont difficilement exploitables. L'outil SIG notamment se révèle mal adapté pour ce type d'analyse. Ainsi, nous avons digitalisé tous les itinéraires avec le logiciel QGIS, en intégrant les horaires de chaque trajet. Cependant l'outil ne permet pas de savoir à quel endroit se trouvent les individus à 18H45 par exemple. Actuellement le traitement des données spatiotemporelles à l'aide d'un logiciel SIG est encore limité ou demande des connaissances très avancées. Des outils spécialisés permettent d'aller vers ce type d'analyse : logiciel R permet par exemple de traiter les actogrammes avec l'extension TraMineR⁵⁹. Cependant, nous avons eu connaissance de ces possibilités trop tardivement pour les utiliser dans l'analyse. L'exploitation des données recueillies au cours de la thèse pourra donc encore être poursuivie.

8.2.5 La difficulté des entretiens

Après les deux campagnes de terrain à Lorca, nous nous sommes rendu compte que notre formation de géographe et plus précisément nos connaissances en enquêtes qualitatives n'étaient pas réellement suffisantes pour mener les entretiens dans le cadre d'une catastrophe. En effet, il est demandé à des témoins de revivre l'une des situations les plus dramatiques qu'ils aient jamais vécues, 9 mois après qu'elle ait eu lieu. Certains ont perdu leur commerce ou leur maison, d'autres connaissaient les victimes ou ont été gravement blessés et presque tous ont eu peur pour leur intégrité physique et pour leurs proches. J'ai néanmoins ressenti dans la majorité des entretiens une prédisposition à tout raconter avec un très grand niveau de détail. Parler avec quelqu'un qui s'intéresse à ce qu'ils ont vécu a semblé reconforter les personnes interrogées. Dans la moitié des cas, cela a provoqué chez ceux qui ont vécu les situations les plus traumatisantes, une remise en situation si forte que leurs émotions ont, elles aussi, ré-émergé soudainement. Bien qu'ayant reçu une formation d'enquêteur, je n'étais pas préparé à faire face à ce type de situation que je provoquais par mes questions. Je n'étais pas non plus préparé à donner le réconfort émotionnel que semblaient réclamer les témoins. De plus, il est difficile d'être en empathie avec eux après une heure d'entretien intense et il était difficile de garder la distance émotionnelle nécessaire pour, d'un côté, garder l'agilité mentale pour bien mener l'entretien et d'un autre côté, garder le moral, la motivation et l'esprit neutre pour l'entretien suivant. L'association avec des psychologues spécialistes de ces situations de crise constituerait un atout essentiel pour poursuivre la collecte des données dans ces conditions.

⁵⁹ Package qui se trouve dans le logiciel de statistique R. Il permet de réaliser des analyses des séquences, dans notre cas cela pourrait concerner des séquences d'activités réalisées pendant la période de crise sismique.

Cette réflexion conduit également à mettre en débat la question de la temporalité « idéale » pour aller interviewer des témoins qui ont vécu une situation traumatique. En effet, réaliser une enquête sur une journée précise, 9 mois après celle-ci, peut sembler arriver trop tardivement. Cependant, lors des entretiens, nous nous sommes aperçu que dans certains cas, les personnes interviewées n'auraient pas été capables de revivre le jour du séisme plus tôt. Elles-mêmes nous ont affirmé que réaliser cet entretien a été vécu comme une sorte de thérapie, et une épreuve pour se montrer à elles-mêmes qu'elles étaient dans un processus d'assimilation. Selon leur point de vue, elles auraient été incapables de le faire plus tôt car les émotions auraient été trop fortes et trop dures psychologiquement parlant. Enfin, nous réaffirmons que même 9 mois après le séisme, la mémoire reste suffisante pour notre travail, même si elle a pu souffrir de quelques imprécisions.

Enfin, nous croyons que pour ce type d'entretiens en particulier le fait de partager la même langue maternelle que les témoins a été un facteur extrêmement avantageux. Pendant les entretiens, le fait de n'avoir aucune limitation du langage a été un bien précieux. Je me suis senti doté d'une agilité mentale et orale difficile à avoir sans être natif. Ce constat est important pour une utilisation ultérieure de la méthode dans d'autres contextes d'étude. Une connaissance non seulement de la langue mais aussi de la culture locale sont des alliés essentiels dans ce type d'approche. En effet, la connaissance des modes de vies (les rythmes de la vie quotidienne) et du contexte économique et social local constitue des éléments indispensables pour saisir et interpréter les discours des témoins.

Perspectives

Chapitre 9 - Perspectives

9.1 Nouvelles problématiques à explorer

Le séisme de Lorca peut être considéré comme un excellent laboratoire pour architectes et techniciens et doit l'être aussi pour les sciences sociales. La richesse des processus sociaux que nous avons pu observer, qui, au début, nous a perturbé, ouvre un large champ d'interrogations.

Comme nous l'avons déjà avancé, nous avons pu compiler des données non seulement sur la période de crise sismique mais également sur l'adaptation des individus les jours et les mois qui ont suivi le séisme jusqu'à la date de notre entretien (9 mois après) (Annexe 2). S'il n'était pas possible d'exploiter l'ensemble de ces données dans le temps de la thèse, nous avons néanmoins identifié des questions qu'il serait intéressant de traiter.

Mobilité post-crise

Les évaluations de l'état des bâtiments par les architectes et techniciens ont commencé dans les jours qui ont suivi la secousse. Parfois, il leur a été facile de déterminer si le bâtiment était à nouveau habitable, mais dans d'autres cas de nombreuses expertises ont été nécessaires. Certaines personnes n'ont donc pas pu retourner chez elles car leur bâtiment devait être soit intégralement réparé, soit démoli et reconstruit. Comment les personnes se sont-elles adaptées à cette nouvelle configuration ? Nous avons compilé des données concernant les différents lieux d'habitations qu'ils ont pu occuper à la suite du séisme. L'analyse de ces données permettrait de connaître quelles ont été les stratégies d'adaptation face à l'impossibilité de rentrer chez soi.

Méfiance à l'égard des rapports des techniciens et architectes

L'application des codes de couleur a créé une certaine méfiance de la part de la population. Chez 6 témoins, leur syndicat de copropriété a demandé des inspections supplémentaires auprès d'autres spécialistes afin de contredire les études initiales. Nous ne pouvons pas savoir si ce phénomène a été généralisé ou relève seulement de quelques cas isolés mais il serait intéressant de connaître pour quelles raisons il y a eu ce genre de double expertise. La méfiance a-t-elle été généralisée ? Dans ces situations de double expertise, les conclusions étaient-elles réellement différentes et pour quelles raisons ?

Population d'origine espagnole et population étrangère

Comme nous l'avons dit, 20% de la population de Lorca est d'origine étrangère. D'après les entretiens et le travail de terrain réalisé quatre jours après la secousse, nous avons pu constater plusieurs problèmes liés à cette configuration. En regardant les campements d'évacués, il était très facile de s'apercevoir que la grande majorité des occupants était d'origine étrangère. Dans les entretiens, ils sont souvent pointés comme une population très fragile étant donné que, dans la plupart de cas, ces personnes ne sont pas propriétaires de leur logement. Les locataires présentent une fragilité particulière car leur habitation n'est pas la priorité des propriétaires qui peuvent par ailleurs avoir des ennuis avec leur propre habitation. Ce qui paraît évident c'est le fait que le tremblement de terre a montré deux manières de faire face à la nouvelle configuration de la ville selon que l'on soit étranger ou originaire de la région.

Lente reconstruction

Nous avons souhaité regrouper plusieurs questions qui, bien que traitées avec une certaine périodicité par les médias, ne font pas à ce jour l'objet d'articles scientifiques. L'une d'elle est la suivante : comment la ville s'est-elle reconstruite ? Il est de moins en moins fréquent que les médias fassent état de certains bâtiments qui sont encore actuellement en ruine ou en attente de démolition et de reconstruction, 3 ans après le séisme. Des difficultés pour arriver à une entente entre les assurances privées et la ville semblent être les principales causes du problème. Cependant, il faudrait étudier de manière plus approfondie quelles sont les causes de ces blocages administratifs.

9.2 Futures applications possibles

Le caractère exploratoire de cette thèse contribue à définir un protocole d'analyse de l'adaptation d'une population suite à une catastrophe. Nous avons importé cette méthodologie de l'analyse de la mobilité en période hydrométéorologique instable avec des bons résultats pour ce qui concerne l'adaptation de la méthode (Creutin et al. 2009). On peut supposer aujourd'hui que cette méthode pourrait aussi être adaptée et appliquée à d'autres types de risque. De la même manière, dans le cas de futurs

tremblements de terre, il paraît aujourd'hui possible de collecter le même type de données et ainsi d'évaluer si la méthode permet, comme c'est le cas pour les crues rapides, de comparer l'exposition humaine dans différentes situations.

Connaissance très fine

Si elles se prêtent difficilement à une généralisation, les données collectées lors de la thèse permettent néanmoins de mieux comprendre les comportements individuels en période de crise sismique. Cette connaissance très détaillée pourrait être très utile pour la modélisation des comportements humains en cas de crise (Spence et So 2011; Truong et al. 2013; Cutter et al. 2008).

Consignes de sécurité

Enfin, les résultats de l'étude de l'exposition sur le cas de Lorca pourraient être utilisés par les services de sécurité pour améliorer l'information sur les comportements à adopter en cas de séisme. Pour l'heure, en effet, les plaquettes d'information s'arrêtent au moment où l'individu est dans un espace ouvert. A notre sens, il faudrait informer la population non seulement sur la réaction au moment du séisme, mais aussi sur les décisions les plus adaptées pour permettre une évacuation de la ville qui réduise au minimum l'exposition individuelle potentielle. Ainsi, limiter les déplacements dans la ville, prioriser les grandes avenues au lieu des itinéraires les plus courts, connaître à l'avance quelles sont les voies de sortie les plus adaptées à chaque personne et habitation, pourraient être des consignes intéressantes à intégrer.

9.3 Approche spatiotemporelle de l'exposition aux séismes

A partir des analyses réalisées au cours de la thèse, nous avons aujourd'hui une vision assez précise de ce qui s'est passé lors de l'événement de Lorca en mai 2011. Le fait d'avoir un aussi grand nombre d'aspects à étudier, même en se centrant sur l'aspect humain, a provoqué chez nous de nombreuses interrogations sur les interrelations entre les différents phénomènes.

Cette réflexion fait écho aux travaux entrepris sur la place grenobloise dans le cadre du séminaire interdisciplinaire AMETHIST⁶⁰ qui rassemble des géographes, des sociologues, des politistes ainsi que des chercheurs en science de l'environnement comme par exemple des hydro-météorologues et des climatologues. Ces recherches communes nous ont amené à prendre en considération une approche particulière

⁶⁰ Anticipation, Mobilité, Echelles spatio-Temporelles, Intégration, hydrométéo, Société, Territoires www.ametihst.fr/.

permettant de conceptualiser des phénomènes complexes, comme par exemple l'évolution du pastoralisme au Sahel ou les crues rapides dans le Gard, en intégrant les différents aspects, sociaux et environnementaux, qui entrent en jeu. Cette manière de concevoir les phénomènes et d'intégrer les aspects qui le constituent en échelles spatio-temporelles est extraite des travaux de Gunderdon et Holling (Holling 2001).

Nous avons donc identifié trois dimensions spatiotemporelles au sein des entretiens réalisés à Lorca. L'événement traverse toutes les échelles sociales, de la mise en protection individuelle à la définition des politiques de reconstruction de la ville, en passant par l'organisation opérationnelle des secours et l'intervention des services de sécurité de toute la région au moment de la crise. Il implique également plusieurs processus physiques (intensité et impact spatial de la secousses, périodicité des répliques) et un impact spécifique sur le bâti. Ces différentes dimensions de l'événement se sont manifestées dans un espace déterminé et avec une temporalité précise. Elles s'imbriquent entre elles et provoquent des répercussions localement mais également à des échelles plus larges. Ainsi, nous proposons de détailler trois de ces aspects permettant de diviser l'espace-temps de la ville par rapport aux individus et à leurs comportements.

Le premier, que l'on pourrait appeler *mise en protection réflexe*, est sûrement le mieux étudié. Il dure quelques secondes dans un espace d'action de quelques mètres. Il correspond à la réaction, souvent réflexe, des individus pendant et immédiatement après la secousse. Que sait-on sur ces réactions ? Des nombreux travaux en psychologie environnementale se sont interrogés sur les processus qui ont cours chez des personnes qui subissent un fort stress. Le docteur Choen⁶¹ fait une compilation des leçons apprises pendant toutes les catastrophes auxquelles elle a assisté entre 1970 et 2007 : tremblements de terre, éruptions volcaniques, tremblements sous-marins par exemple (Cohen 2008). Les réactions physiques et psychiques produites par le stress lié à un événement sont bien étudiées. Ainsi, les facteurs stressants tels qu'une secousse provoquent l'activation du système nerveux central. Une partie du cerveau (cerveau limbique) s'active, permettant de réagir en cas de menace (en luttant ou en s'enfuyant). L'organisme a besoin de ces parties du cerveau pour survivre. En simplifiant, une situation de stress va provoquer l'activation du cerveau limbique et celui-ci va rendre possible une réaction face à la menace. Plusieurs facteurs (génétiques, de santé, personnalité, relatifs à des événements ou des traumatismes antérieurs) vont déterminer la réaction face à cette menace (Cohén 1985). L'activation de cette partie du cerveau provoque que d'autres fonctions sont alors désactivées ou fonctionnent mal. Par exemple, on constate (lors de nos entretiens), que pendant la secousse, la plupart des

⁶¹ Docteur, psychiatre, consultante en santé mentale en situation de désastres de l'Organisation Panaméricaine de Santé. *Miami University, USA.*

personnes sont capables de retenir une grande quantité de détails de leur environnement, et un temps très court leur paraît très long. Ce phénomène bien connu dote la personne d'une capacité d'analyse de son environnement afin de prendre une bonne décision. Cependant, pour prendre une décision, il faut d'abord interpréter les informations. Or la partie du cerveau qui interprète pour agir ensuite n'est pas prioritaire dans ces situations, car l'important est de réagir vite. S'ils ne sont pas pratiqués régulièrement, des comportements à adopter en cas de panique sont difficiles à appliquer au moment opportun et souvent les réactions adoptées ne sont pas adaptées (Bödvarsdóttir et Elklit 2004), même si la connaissance des consignes de sécurité est correcte.

Nous pensons qu'il s'agit là d'un aspect déterminant de la capacité à s'adapter. Plusieurs articles publiés après le séisme de Lorca indiquent qu'il y a beaucoup de travail à réaliser afin d'inculquer des comportements immédiats et adaptés aux séismes (Alfaro et al. 2011; González López 2012; Oterino et al. 2012). En effet, certains des morts et des blessés ont été affectés à la sortie immédiate des bâtiments. Ainsi, la *mise en protection réflexe*, qui dure quelques secondes et s'applique à un espace de quelques mètres, mériterait à elle seule une étude approfondie. Ce travail de thèse nous a permis d'ébaucher la question, sans toutefois pouvoir la développer suffisamment, faute de données adaptées.

Le deuxième aspect est celui que l'on a qualifié de *mise en protection réfléchie*. Il est beaucoup moins étudié pour la simple raison que les études sur les tremblements de terre s'intéressent essentiellement au moment de la secousse. Nous pensons important d'élargir la fenêtre temporelle des études. En effet, dans les heures qui suivent l'événement, les individus prennent conscience qu'ils ont vécu un séisme et qu'ils sont vivants. C'est alors pour eux le moment de connaître (chacun à sa manière) l'étendue des dégâts, de se protéger et protéger ses proches des possibles répliques.

Débutent alors la prise en compte d'un nouvel environnement tout en étant encore sous les effets du stress de la secousse. Chaque mètre franchi peut faire augmenter ou diminuer la sensation de panique. Par exemple une personne qui a vécu le séisme en étage supérieur va voir augmenter sa sensation de panique quand il va passer dans les étages inférieurs, souvent plus affectés (Tibaduiza et al. 2012). Quelqu'un qui habite au premier étage peut voir sa sensation de panique réduite instantanément une fois qu'il se trouve à l'extérieur du bâtiment. Ainsi dans cette période un même stimulus peut faire augmenter ou diminuer la sensation de peur selon chaque individu. Dans certains cas, ces stimuli peuvent être tellement forts que la personne peut se trouver à nouveau en situation de *mise en protection réflexe*. Dans l'étude du cas de Lorca, nous avons montré certains des facteurs auxquels l'individu réagit. Par exemple, lors de la secousse, certains restent figés et d'autres sortent en courant. D'autres cherchent l'individu le plus proche pour se prendre dans les bras et une petite partie applique une des consignes de sécurité comme par exemple se mettre dans l'encadrement d'une porte. Nous avons également montré comment l'exposition pouvait varier dans l'espace et

dans le temps, selon les mouvements des individus dans ce nouvel environnement. Cependant, les efforts sont encore à poursuivre pour mieux comprendre comment se fait l'adaptation des individus aux changements brutaux de leur environnement quotidien dans le processus de mise en protection.

Enfin, le troisième aspect concerne *l'évacuation*. Les individus évacués n'ont plus d'autre activité à réaliser que le fait de trouver un endroit où passer la nuit en sécurité. Certains sortent de la ville, d'autres restent le soir dans leur maison ou dans des campements mis en place par les services de sécurité. L'évacuation est un aspect largement traité dans ce travail qui montre notamment que ce processus n'est pas aussi simple qu'il pouvait paraître au départ. Nous avons cependant signalé qu'une partie importante des données restaient à analyser pour comprendre ce qui se joue à la suite de l'évacuation dans le temps qui s'écoule entre l'éloignement de la ville et le retour au domicile.

Ces trois aspects (*mise en protection réflexe, mise en protection réfléchie et évacuation*), peuvent être vus comme des phases temporelles successives, très liées à des composantes spatiales spécifiques, tout comme Gunderdon et Holling le font apparaître dans leurs travaux (Holling 2001). Avec l'aide de spécialistes d'autres domaines, il serait intéressant d'utiliser le schéma conceptuel proposé pour mieux comprendre les interactions en jeu au moment des séismes.

Bibliographie

- Adger, W. N. 2006. « Vulnerability ». *Global Environmental Change, Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change*, 16 (3): 268-281.doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006.
- Adger, W. N., et J. Barnett. 2009. « Four reasons for concern about adaptation to climate change ». *Environment and Planning A* 41 (12): 2800-2805.
- Alcalde Pecero, F. 2002. *Banco de detalles arquitectónicos*. Clara Alcalde Carrasco. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=155355>.
- Alfaro, P., M. González, D. Brusi, J. A. López Martín, J. J. Martínez-Díaz, J. García Mayordomo, B. Benito, et al. 2011. « Lecciones aprendidas del terremoto de Lorca de 2011. » *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19 (3): 245-60.
- André-Poyaud, I., F. Bahoken, S. Chardonnel, L. L. Charleux, S. Depeau, F. Dureau, M. Giroud, C. Imbert, E. Quesseveur, et K.K. Tabaka. 2009. « Représentations graphiques et indicateurs des mobilités et des dynamiques de peuplement: contribution bibliographique », octobre. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00470407>.
- Aribert, J.-M. 2002. « Notions spécifiques pour un code de dimensionnement parasismique des constructions mixtes acier-béton ». *Construction métallique* 39 (3): 5-17.
- Armenian, H. K., A. Melkonian, E. K. Noji, et A. P. Hovanesian. 1997. « Deaths and injuries due to the earthquake in Armenia: a cohort approach. » *International journal of epidemiology* 26 (4): 806-13.
- Barroca, B., N. Pottier, et E. Lefort. 2005. « Analyse et évaluation de la vulnérabilité aux inondations du bassin de l'Orge aval ». *Actes des septièmes rencontres de TheoQuant, Atelier* 3.
- Beaud, S., et F. Weber. 1998. « Guide de l'enquête de terrain: produire et analyser des données ethnographiques ». *Paris: La Découverte*.
- Becerra, S. 2012. « Vulnérabilité, risques et environnement: l'itinéraire chaotique d'un paradigme sociologique contemporain ». *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement* 12 (1). <http://vertigo.revues.org/11988>.
- Beck, E., I. André-Poyaud, S. Chardonnel, P-A. Davoine, et C. Lutoff. 2010. « MOVISS: Méthodes et Outils pour l'évaluation de la Vulnérabilité Sociale aux Séismes », mai. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00989869>.

- Bödvarsdóttir, I., et A. Elklit. 2004. « Psychological Reactions in Icelandic Earthquake Survivors ». *Scandinavian Journal of Psychology* 45 (1): 3-13. doi:10.1111/j.1467-9450.2004.00373.x.
- Bolton, P. A. 1993. *The Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989: Public Response*. US Government Printing Office.
- Bonett Díaz, R.L. 2003. « Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada. » Info:eu-repo/semantics/doctoralThesis. *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. <http://www.tdx.cat/handle/10803/6230>.
- Calianno, M., I. Ruin, et J. J. Gourley. 2013. « Supplementing flash flood reports with impact classifications ». *Journal of Hydrology* 477 (janvier): 1-16. doi:10.1016/j.jhydrol.2012.09.036.
- Camelbeek, T., A.M. Barszez, et A. Plumier. 2006. « Le Risque Sismique et Sa Prévention En Région Wallonne ». <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/18333>.
- Campillo Cascales, M. J., A. Rivas Molina, A. Luna Maldonado, et B. Llor Esteban. 2004. « ¿ Qué pueden hacer los psicólogos en una situación de desastre? » *Enfermería Global* 3 (1).
- Capote, R., A. Estévez, P. Santanach, C.S. Galdeano, et J. L. Simón. 2011. « ¿Dónde y por qué se produce terremotos en la península Ibérica? » *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19 (3): 317-329.
- CARM. 2006. *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia (SISMIMUR)*. Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia (SISMIMUR). Murcia: DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL.
- Carreño, M. L., O. D. Cardona, M. C. Marulanda, et A. H. Barbat. 2007. « Índice para evaluar el desempeño y la efectividad de la gestión de riesgos (DRMi) ». *Extraído de: http://www.desenredando.org/public/articulos/2007/articulos_omar/IGR_La_Red.pdf* Consulta 29: 02-12.
- Chardonnel, S., et M. Stock. 2005. « Time-geography ». *Echelles et temporalités*, 89-95.
- Coburn, A. W., R. J. S. Spence, et A. Pomonis. 1992. « Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse ». In *Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering*, 10:5989-94.
- Cohén, R. 1985. « Reacciones individuales ante desastres naturales ». *Bol Of Sanit Panam* 98 (2): 171-180.
- Cohen, R. E. 2008. « Lecciones aprendidas durante desastres naturales: 1970-2007 ».

- Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 25 (1): 109-17.
- Combescure, D., P. Guéguen, et B. Lebrun. 2005. « Vulnérabilité sismique du bâti existant: approche d'ensemble ». *Cahier technique AFPS* 25: 121.
- Creutin, J.D., M. Borga, C. Lutoff, A. Scolobig, I. Ruin, et L. Créton-Cazanave. 2009. « Catchment dynamics and social response during flash floods: the potential of radar rainfall monitoring for warning procedures ». *Meteorological Applications* 16 (1): 115-25.
- Cutter, S.L., L. Barnes, M. Berry, C. Burton, E. Evans, E. Tate, et J. Webb. 2008. « A place-based model for understanding community resilience to natural disasters ». *Global Environmental Change* 18 (4): 598-606.
- D'Ercole, R., J-C. Thouret, O. Dollfus, et J-P. Asté. 1994. « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, modes d'analyse ». *Revue de géographie alpine* 82 (4): 87-96.
- Davoine, P-A., E. Beck, I. André-Poyaud, S. Chardonnel, et C. Lutoff. 2013. « Dynamic and interactive mapping for the spatio-temporal analysis of social vulnerability to seismic risks ». *Journal of Maps*, janvier.
- Davoine, P-A., E. Beck, I. André-Poyaud, S. Chardonnel, C. Lutoff, A. Telechev, et others. 2012. « Géovisualisation pour la réduction de la vulnérabilité socio-spatiale en milieu urbain. » *Comité Français de Cartographie* 211: 69-84.
- Dhakal, R. P. 2010. « DAMAGE TO NON-STRUCTURAL COMPONENTS AND ». *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering* 43 (4). [http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/43\(4\)0404.pdf](http://www.nzsee.org.nz/db/Bulletin/Archive/43(4)0404.pdf).
- Díaz, J. J. J. 2012. « Lorca: el terremoto del 11 de mayo de 2011. » *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19 (3): 362-364.
- Díaz, J.A.M. 2011. « La falla de Alhama de Murcia probable causa del terremoto de Lorca ». http://pendientedemigracion.ucm.es/info/otri/cult_cient/infocientifica/201105_04not.htm.
- Díez, A. A., et C. S. Larrea. 2012. « Reconsidering Urban Planning in Spain after the Lorca Earthquake (11 th May 2011) ». *15th World Conference in Earthquake Engineering*. http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_2056.pdf.
- Frechet, J. 1978. « Sismicité du Sud-Est de la France et une nouvelle méthode de zonage sismique ». Université Scientifique et Médicale de Grenoble. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00635869>.
- García Sendé, N. 2012. « Análisis del comportamiento sísmico de edificios de hormigón armado: comparación entre un edificio porticado y uno de forjado reticular sometido al sismo de Lorca. »

- Glatron, S., et E. Beck. 2008. « Evaluation of socio-spatial vulnerability of citydwellers and analysis of risk perception: industrial and seismic risks in Mulhouse ». *Natural Hazards and Earth System Science* 8 (5): 1029-40.
- Glatron, S., and E. Beck. 2010. « Information préventive et représentations des risques industriels par le Mulhousiens ». *Mappemonde*, n° 97. <http://hal.archives-ouvertes.fr/halshs-00511977/>.
- Goltz, J.D., L. A. Russell, et L.B. Bourque. 1992. « Initial behavioral response to a rapid onset disaster: a case study of the October 1, 1987, Whittier Narrows earthquake ». *International Journal of Mass Emergencies and Disasters* 10 (1): 43-69.
- Gómez, J.A.A., M.J.R. Peces, J.M.I. Árévalo, J.J.M. Díaz, et P.G. Silva. « Testing archaeoseismological techniques with instrumental seismic data caused by the mw 5.1 Lorca earthquake (5-11-2011, se of Spain) ».
- González López, S. 2012. « Secuencia sísmica de Lorca: análisis de consecuencias y actuaciones de emergencia y post-emergencia ». *Alberca: Revista de la Asociación de Amigos del Museo Arqueológico de Lorca*, n° 10: 9-37.
- Guéguen, Philippe. “Sismologie Urbaine: Aléa Local, Dynamique Des Structures, Interaction Site-Ville et Vulnérabilité Urbaine.” Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2009. <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00436286/>.
- Guevara, J. B. M. 2011. « Sismos del 11 de mayo de 2011 en Lorca ». *Papeles de geografía*, n° 53: 199-213.
- Holling, C.S. 2001. « Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems ». *Ecosystems* 4 (5): 390-405.
- Janssen, M.A. 2007. « An update on the scholarly networks on resilience, vulnerability, and adaptation within the human dimensions of global environmental change ». *Ecology and Society* 12 (2): 9.
- Jonkman, SN. 2005. « Global perspectives on loss of human life caused by floods ». *Natural hazards* 34 (2): 151-75.
- Léone, F., et F. Vinet. 2006. « La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles ». *Analyses géographiques. Géorisques* 1.
- Léone, F., and F. Vinet. 2007. « La vulnérabilité, un concept fondamental au cœur des méthodes d'évaluation des risques naturels ». *La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques*, 9-25.
- López-Comino, José-Ángel, F d L. Mancilla, J. Morales, et D. Stich. 2012. « Rupture directivity of the 2011, Mw 5.2 Lorca earthquake (Spain) ». *Geophysical Research Letters* 39 (février): 5 PP. doi:201210.1029/2011GL050498.

- Lutoff, C. 2000. « Le système urbain niçois face à un séisme-Analyse des enjeux et des dysfonctionnements potentiels ». thèse de doctorat en géographie, Université de Savoie.
- Lutoff, C. 2013. « Exposition sociale aux phénomènes naturels extrêmes. Vers une observation de l'exposition dynamique, des modes et rythmes d'adaptation. » HDR, Grenoble: PACTE, Université Joseph Fourier, Grenoble, France et Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement – LTHE.
- Marano, K.D., D. J. Wald, et T. I. Allen. 2010. « Global earthquake casualties due to secondary effects: a quantitative analysis for improving rapid loss analyses ». *Natural hazards* 52 (2): 319-28.
- Martin, Ch., Ph. Combes, R. Secanell, G. Lignon, D. Carbon, A. Fioravanti, et B. Grellet. 2002. « Révision du zonage sismique de la France. Etude probabiliste ». *Rapport GEOTER GTR/MATE/0701* 150.
- Martínez, J.D.H. 2012. « Efectos Del Terremoto de Lorca Del 11 de Mayo de 2011 Sobre El Patrimonio Religioso. Análisis de Emergencia Y Enseñanzas Futuras ». *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO* 123 (4): 515-536.
- Martínez Moreno, F., A. Salazar Ortuño, J. Martínez Díaz, J. A. López Martín, R. Terrer Miras, et A. Hernández Sapena. 2012. « EsLorca: Una Iniciativa Para La Educación Y Concienciación Sobre El Riesgo Sísmico ». *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO* 123 (4): 575-588.
- Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia)*. 2011. Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia). Murcia.
- Meseguer, E.G., A.P. Morales, et J.M.G. Espín. 2012. « Precipitaciones y avenidas del 28 DE Septiembre de 2012 en el cuadrante suroccidental de la cuenca del Segura (Municipios de Lorca, Puerto Lumbreras y Pulpí) ». [Info:eu-repo/semantics/article](http://eu-repo/semantics/article). <http://digitum.um.es/jspui/handle/10201/35559>.
- Okada, S., et N. Takai. 2000. « Classifications of structural types and damage patterns of buildings for earthquake field investigation ». In *Proceedings of the 12th world conference on earthquake engineering (paper 0705)*, Auckland. <http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/0705.pdf>.
- Oterino, B. B., A. R. Medina, J. M. G. Escribano, et Patrick Murphy. 2012. « El terremoto de Lorca (2011) en el contexto de la peligrosidad y el riesgo sísmico en Murcia. » *Física de la Tierra* 24 (0): 255-287. doi:10.5209/rev_FITE.2012.v24.40141.
- Páez, D., E. Arroyo, et I. Fernández. 1995. « Catástrofes, situaciones de riesgo y factores psicosociales ». *Mapfre y Seguridad* 57: 43-45.
- Páez, D., I. Fernández, C. M. Beristain, et C. San Juan. 2001. « Catástrofes, traumas y

- conductas colectivas: procesos y efectos culturales ». *San Juan C, comp. Catástrofes y ayuda de emergencia. Barcelona: Icaria*, 85-148.
- Peek-Asa, C., J. F. Kraus, L. B. Bourque, D. Vimalachandra, J. Yu, et J. Abrams. 1998. « Fatal and hospitalized injuries resulting from the 1994 Northridge earthquake ». *International Journal of Epidemiology* 27 (3): 459-65.
- Quarantelli, E. .L. 1982. « Sheltering and housing after major community disasters: case studies and general observations ».
- Quarantelli, E. L. 1999. « The disaster recovery process: What we know and do not know from research ». <http://dspace.udel.edu/handle/19716/309>.
- Reghezza, M. 2006. « La vulnérabilité: un concept problématique ». *F. Léone et F. Vinet, La vulnérabilité des sociétés et des territoires face aux menaces naturelles. Analyses géographiques, Montpellier, PULM, coll. Géorisque, n° 1*: 35-40.
- Rodríguez, L.C., E.C. Herrero, A.I. Álvarez, J.M.M. Solares, R.C. Villar, J. J.M. Díaz, B. Benito, et al. 2011. « Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011 ». Informe Técnico. <http://digital.csic.es/handle/10261/62381>.
- Rojo, M.B. 2009. *Bilan spatio-temporel de la vulnérabilité des routes du Gard face aux crues rapides (Evènements du 6 au 9 Septembre 2005)*. Mémoire stage. Institut de Géographie Alpine.
- Rojo, M.B., E. Beck, C. Lutoff, et P. Schoeneisch. 2013. « Exposition sociale face aux séismes : la mobilité en question. Le cas de Lorca (Espagne) – Mai 2011 ». *PLUM*, Georrisque.
- Ruin, I. “Conduite À Contre-Courant. Les Pratiques de Mobilité Dans Le Gard: Facteur de Vulnérabilité Aux Crues Rapides.” Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2007. <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00258018/>.
- Ruin, I., J. D Creutin, S. Anquetin, et C. Lutoff. 2008. « Human exposure to flash floods-Relation between flood parameters and human vulnerability during a storm of September 2002 in Southern France ». *Journal of Hydrology* 361 (1-2): 199-213.
- Ruin, I., et C. Lutoff. 2004. « Vulnérabilité face aux crues rapides et mobilités des populations en temps de crise ». *La Honille Blanche*, n° 6: 114-19.
- Ruin, I., C. Lutoff, B. Boudevillain, J.D. Creutin, S. Anquetin, M.B. Rojo, L. Boissier, et al. 2013. « Social and hydrological responses to extreme precipitations: An interdisciplinary strategy for post-flood investigation ». *Weather, Climate, and Society*, septembre, 130903161559003. doi:10.1175/WCAS-D-13-00009.1.
- Ruin, I., C. Lutoff, L. Creton-Cazanave, S. Anquetin, M. Borga, S. Chardonnel, J.-D. Creutin, et al. 2012. « Toward a Space–Time Framework for Integrated Water and Society Studies ». *Bulletin of the American Meteorological Society* 93 (10): ES89-ES91.

- doi:10.1175/BAMS-D-11-00226.1.
- Salcedo Hernández, J. C., et A. J. Campesino Fernández. 2012. « Experiencias constructivas del terremoto de Lorca ». <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/24870>.
- Santamaría, G. P., S.G. López, et L.A. Alguacil. 2012. « Análisis de Consecuencias y Actuaciones de Protección Civil en el Terremoto de Lorca (Murcia): Pre-Emergencia, Emergencia y Post-Emergencia ». *Física de la Tierra* 24 (0): 343-362. doi:10.5209/rev_FITE.2012.v24.40144.
- Santoyo, M.A. 2012. « Finite Fault Analysis and Near Field Dynamic Strains and Rotations due to the 11/05/2011 (Mw5. 2) Lorca Earthquake, South-Eastern Spain ». *Arxiv preprint arXiv:1202.3694*.
- SISMORESISTENTS, COMISSIÓ PERMANENT DE NORMES. 2003. *Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación. NCSE-02*. Edicions Multinormas.
- Solares, J. M. M. 2012. « Sismicidad pre-instrumental. Los grandes terremotos históricos en España. » *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 19 (3): 296-304.
- Spence, R. J. S., et E. K. M. So. 2011. « Human casualties in earthquakes: modelling and mitigation ». In *Proceedings of the ninth Pacific conference on earthquake engineering, Auckland, New Zealand*. <http://www.nzsee.org.nz/db/2011/224.pdf>.
- Thevenin, T, Chardonnel, S and E Cochey. “Explorer Les Temporalités Urbaines de L’agglomération de Dijon. Une Analyse de l’Enquête-Ménage-Déplacement Par Les Programmes D’activités.” Espace Populations Sociétés. Space Populations Societies, no. 2007/2–3 (2007): 179–90.
- Thouret, J-C., et R. D’Ercole. 1996. « Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain: effets, facteurs et réponses sociales ». *Cahiers des sciences humaines* 32 (2): 407-422.
- Tibaduiza, M. L. C., N. L. Zarzosa, J. Irizarry, J. A. Valcarcel, A. H. Barbat, et X. G. Suriñach. 2012. « Comportamiento Sísmico de los Edificios de Lorca ». *Física de la Tierra* 24 (0): 289-314. doi:10.5209/rev_FITE.2012.v24.40142.
- Tiedemann, H. 1989. « Casualties as a function of building quality and earthquake intensity ». In *Proceedings of the international workshop on earthquake injury epidemiology for mitigation and response*, 10-12. <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/eng/doc1923/doc1923-contenido.pdf>.
- Truong, H.V., E. Beck, J. Dugdale, et C. Adam. 2013. « Developing a model of evacuation after an earthquake in Lebanon ». *arXiv:1312.5941 [cs]*, décembre. <http://arxiv.org/abs/1312.5941>.
- Vissers, R.L.M., et B.M.L. Meijninger. 2011. « The 11 May 2011 earthquake at Lorca (SE

Spain) viewed in a structural-tectonic context ».

Wagner, R. M., N. P. Jones, et G. S. Smith. 1994. « Risk factors for casualty in earthquakes: The application of epidemiologic principles to structural engineering ». *Structural Safety* 13 (3): 177-200. doi:10.1016/0167-4730(94)90025-6.

White, G. F. 1945. *Human Adjustment to Floods: A Geographical Approach to the Flood Problem in the United States*. University of Chicago.

Liste de figures

Figure 1. Causes des décès provoqués par des tremblements de terre entre 1900-1992 (N=1.528.000 décès). Rojo 2014 d'après (Coburn, Spence, et Pomonis 1992).	19
Figure 2. Conceptualisation de l'exposition statique caractérisée par la confluence spatiale de l'individu et du danger (l'effondrement du bâtiment). Dans cette conception, au moment du séisme, l'individu à l'intérieur est exposé alors qu'à l'extérieur du bâtiment l'exposition est nulle.	22
Figure 3. Conceptualisation de l'exposition humaine dynamique adaptée au cas de Lorca.	24
Figure 4. Les tremblements ne tuent pas, les bâtiments oui. Image extraite d'une des premières analyses apparues après le séisme de Lorca. <i>El terremoto de Lorca de 2011. Causas del impacto y primeras medidas. Análisis preliminar, de l'Instituto Andaluz de Geofísica</i> (http://iagpds.ugr.es) (Vidal, F et al., 2013).....	25
Figure 5. Consignes de sécurité issues d'une recherche sur Google Images en français : "Que faire en cas de séisme".	32
Figure 6. Consignes de sécurité issues d'une recherche sur Google Images en espagnol : "Que hacer en caso de terremoto".	33
Figure 7. Schéma de la méthode de collecte et de traitement des données. Les losanges font référence aux actions sur le terrain et la collecte des données. Les rectangles aux coins arrondis font référence à la cible des données collectées. Enfin, les rectangles aux coins pointus font référence aux données brutes collectées ainsi qu'au traitement postérieur.	43
Figure 8. Localisation des individus enquêtés au moment de la première secousse (situation au moment du premier séisme) et de leurs lieux d'habitation (Fond de carte : Images PNOA del Instituto Geografico Nacional).	45
Figure 9. Grille d'entretien utilisé pour les entretiens à Lorca, adaptée de la grille de Ruin et al. 2003, employée lors des entretiens auprès de la population en période de crues rapides.	47
Figure 10. Exemple de la carte des itinéraires réalisée pendant l'une des enquêtes. Fond de carte : annuaire des commerçants.....	50
Figure 11. Zoom sur une partie de la ville de Lorca pour montrer la superposition des déplacements sur le réseau routier. Nous avons souhaité montrer la moitié de l'image avec le fond cadastral et l'autre moitié avec les images PNOA. Cela aide à se faire une idée du contexte de la ville. Fond de carte : Images PNOA del Instituto Geografico Nacional et cadastre cédé par le <i>Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion</i> de Lorca.	65

- Figure 12. Actogramme qui montre les activités réalisées par des témoins (N=30), en période de crise hydrométéorologique extrême (crues rapides) dans le sud-est de la France, extrait de (Ruin et al. 2013). Chaque ligne correspond à un individu. A gauche est indiqué le bassin versant dans lequel l'activité est réalisée. Pour chaque ligne, on différencie les différentes activités qu'il a réalisées en fonction des couleurs.....68
- Figure 13. Exemple d'actogramme des 20 personnes enquêtées. Dans ce cas nous représentons la variabilité de la mobilité individuelle. Ainsi, nous pouvons voir pour chaque individu et à chaque moment s'il est en train de se déplacer (trajet) ou pas (station). Sur le zoom, nous pouvons apercevoir le pas de temps à la minute..70
- Figure 14. Impression d'écran d'une partie de la frise chronologique représentant les quatre catégories de lieux. Le rectangle rouge correspond au moment de la secousse principale (18H47). A gauche, en bleu clair, la colonne contient les identifiants des 20 individus enquêtés. La première ligne comprend les heures, la deuxième ligne les minutes. Dans la colonne correspondant à chaque minute, la localisation de chaque individu est indiquée suivant 4 catégories : intérieur (code 10), voie publique (code 20), espace ouvert (code 30), hors Lorca (code 40). En bas, la somme des individus pour chaque type de lieu.....71
- Figure 15. Frise chronologique divisée en trois périodes d'analyse. Les flèches rouges indiquent les moments des deux tremblements de terre. Nous avons indiqué aussi le moment d'une réplique de Mv 3,9 vers 20H30.....73
- Figure 16. Carte des intensités et magnitudes des séismes depuis 1948 jusqu'à 2003. Les séismes historiques (entre les années 1048 et 1919) sont représentés avec des valeurs d'intensité tandis que ceux qui correspondent à la période instrumentale (1920-2003) sont représentés avec des valeurs de magnitude. La flèche indique la localisation de Lorca. Carte créée par *l'Instituto Geográfico Nacional* actualisée en 2003.....76
- Figure 17. Zonage sismique de l'Espagne. Les valeurs d'accélération sont calculées pour une période de retour de 500 ans. La localisation d'une ville dans une zone d'accélération élevée suppose des mesures à suivre lors des nouvelles constructions, réhabilitations ou rénovations. La flèche indique la localisation de Lorca. Source : *Ministerio de Fomento*.77
- Figure 18. Carte des failles les plus importantes capables de créer des séismes de magnitude supérieure à Mv 5,5 et une activité post Miocène (il y a 5 millions d'années). Ces failles sont donc actives. Les plus longues sont représentées par un tracé plus épais. Définition des sigles utilisés sur la carte : FAM : Faille de Alhama de Murcia ; FS : Faille de Socovos-Calasparra ; FC : Faille de Crevillente ; FCA : Faille de Carrascoy ; FBS : Faille del Bajo Segura ; FP : Faille de Palomares ; FSM : Faille de San Miguel ; FT : Faille de Torrevieja. Extrait du Plan Spécial de

Protection Civile face au risque sismique dans la région de Murcia (CARM 2006).	78
Figure 19. Carte de la dangerosité sismique en valeurs moyennes de PGA au rocher pour une probabilité de 10 % obtenue pendant le projet RISMUR (<i>Riesgo sísmico de la Región de Murcia</i>) (Rodríguez et al. 2011).	79
Figure 20. Des travailleurs de la mairie enlèvent la boue après les inondations du 28 septembre 2012. Derrière eux, sur les murs des bâtiments, de nombreuses fissures déjà bouchées, ainsi que les piliers refaits à cause du séisme de l'année précédente, montrent le caractère multirisque de la ville. Source : <i>Ayuntamiento de Lorca</i>	82
Figure 21. Image aérienne de la tour du château de Lorca qui a souffert d'importants dégâts, notamment dans les coins supérieurs. Source : El País.....	86
Figure 22. Vue aérienne de l'église de Santiago après le séisme. Sous l'énorme trou, le prêtre allait réaliser la séance de catéchisme annulée à la suite de la première secousse. Auteur : Nacho García.	87
Figure 23. Eglise du Monastère <i>de las Clarisas</i> , suite au séisme (Martínez 2012).....	88
Figure 24. Séquence d'images de la chute du clocher pendant le deuxième séisme quand un journaliste de TV1 est en train d'interviewer des témoins de la première secousse. Le clocher tombe à quelques mètres de lui. Dans la dernière image nous observons le lieu depuis un autre angle. Sources : (TV1) et la photo en bas (Juan Francisco Moreno / EFE).....	89
Figure 25. Chute en direct du niveau supérieur d'un clocher pendant une émission télévisée. Une importante quantité de débris sont propulsés sur la voie publique. Source : TheAnthonyo92 .noticias	90
Figure 26. Exemple d'étiquetage vert, jaune, rouge et noir sur les bâtiments de Lorca. Pour l'exemple du bâtiment en jaune, il est aussi indiqué que la corniche est en équilibre et peut tomber. Auteur : Marc Bertran Rojo	92
Figure 27. Organisation des évaluations des bâtiments au service d'urbanisme de Lorca. En haut à gauche, la carte de la ville avec les délimitations des sections de recensement utilisées pour répartir les taches des évaluations des experts. Sur la droite, les bombes de peinture pour marquer les bâtiments. En bas, deux experts en train d'évaluer les dommages dans un bâtiment, et finalement le marquage sur la façade du bâtiment. La carte et la photo en haut à droite ont été prises au service d'urbanisme de Lorca 4 jours après la secousse (auteur : Marc Bertran Rojo). La photo du bas est une image provenant d'une vidéo créée par <i>Noticias de Hoy</i> . La dernière image est extraite de l'archive de la <i>Vanguardia</i>	93

Figure 28. Exemples de dommages sur des piliers. Auteurs : Patrick Murphy et Adrian Tomas Alarcon.....	95
Figure 29. A gauche, bâtiment de trois étages de 1800. A droite, bâtiment de 1910 avec le même type de fissure verticale (J. Perez Mueles).....	96
Figure 30. Images du seul bâtiment que s'est effondré. En haut à gauche, une image extraite de Google Maps montre le bâtiment avant le séisme ; les autres montrent les dégâts après la secousse. Sources : <i>Libertad digital, la Vanguardia, Itesia</i>	96
Figure 31. Exemples de dommages non structuraux. Nous pouvons en trouver à différentes hauteurs, à l'intérieur ou à l'extérieur des bâtiments (M. Feriche).	97
Figure 32. Salle de <i>Coordinacion Operativa de Proteccion Civil</i> (SACOP) de la <i>Dirección General de Protección Civil y Emergencias</i> (DGPCE). Source : Ministère de l'intérieur.....	101
Figure 33. Photographie aérienne du campement de <i>Huerto de la Rueda</i> (Lorca, mai 2011) Source : (<i>Memoria de actividades (1-1-2 Región de Murcia)</i> 2011).....	108
Figure 34. Membres de l'Unité Militaire d'Urgence en train de se répartir les tâches suite au séisme de Lorca (Source : Juan Carlos Cardenas / EFE).	109
Figure 35. Image de l'avenue Juan Carlos I une vingtaine de minutes après le séisme. Sur la photo nous pouvons apprécier, avec un uniforme de Protection Civile, le responsable que nous avons eu l'occasion d'interviewer. Le restaurant <i>Fast Food</i> qui apparaît dans la précédente citation se trouve en face des voitures écrasées dans la partie inférieure droite de l'image. Source : Juan Carlos Cardenas / EFE.	113
Figure 36. Durée des trajets individuels effectués pendant les périodes d'analyse définies.	121
Figure 37. Comparaison de la situation réelle observée (violet foncé) et la situation hypothétique (violet clair) d'une évacuation massive (évolution du nombre d'individus en situation d'évacuation). Cette évacuation hypothétique se produirait dans le cas où toutes les personnes évacuaient la ville immédiatement après la première secousse. Les flèches en rouge indiquent le moment des premier et deuxième séismes ainsi qu'une réplique de Mv 3,9.....	123
Figure 38. Mode de transport utilisé pour les déplacements de tous les individus enquêtés. Les flèches en rouge indiquent le moment des premier et deuxième séismes ainsi qu'une réplique de Mv 3,9.....	124
Figure 39. Exemple de méthodologie de comptage d'accompagnants. Le comptage se fait à chaque changement de situation, qu'il corresponde à un déplacement ou un arrêt en un lieu.....	125

Figure 40. Evolution du nombre d'accompagnants par individu pendant la période de crise. Chaque type de symbole correspond à un individu différent. Chaque symbole nous montre à chaque lieu et déplacement différent le nombre d'accompagnants avec lesquels l'individu se trouve.	126
Figure 41. Evolution du nombre d'accompagnants par individu pendant le période de crise. En abscisse, le 0 correspond au début de la crise de chaque personne et 1 la fin de l'événement.	127
Figure 42. Communes choisies par les personnes évacuées suite au tremblement de terre. Source fond carte: IGN	130
Figure 43. Nombre d'activités réalisées pendant les périodes définies. Chaque graphique radar est construit en prenant comme référence les trois périodes.....	133
Figure 44. Comparaison de deux groupes d'individus en fonction du nombre d'activités réalisées pendant toute la période de crise. A gauche, les 9 individus qui ont réalisé le plus grand nombre d'activités (actifs) et à droite les 11 restants avec un nombre d'activités inférieur (inactifs). (N=20)	138
Figure 45. Exemples de réparations avec étais. Auteur des photos : Adrian Thomas Alarcon.....	143
Figure 46. Illustration des catégories d'espaces définies pour caractériser les situations d'exposition. En bas, limite de la ville avec la catégorie hors Lorca. (Sources multiples ; cf. sous les photos).	145
Figure 47. Evolution de la localisation des individus vis-à-vis des bâtiments : une méthodologie d'analyse de l'exposition. A chaque minute, nous observons la localisation des individus dans l'une des quatre catégories d'espaces définies antérieurement.	147
Figure 48. Modèle conceptuel de la mobilité en relation avec l'exposition en période de crise sismique. Modèle construit à partir de l'analyse de l'événement sismique du 11 mai 2011 à Lorca en Espagne.....	148
Figure 49. Carte de la ville de Lorca avec la localisation des 9 décès. Source : Données cadastrales de l'IGN. Fond carte : Images <i>PNOA del Instituto Geografico Nacional</i> . Localisation, élaboration propre à partir informations photographiques et de plusieurs journaux (El Mundo, La Verdad).....	154
Figure 50. Pompiers faisant tomber de manière contrôlée une corniche en équilibre le lendemain du tremblement de terre de Lorca. Auteur : REUTERS.	156
Figure 51. La corniche est complètement tombée sur la voie publique (Source : <i>El Periodico de Hoy</i>).....	156

- Figure 52. Exemple d'une corniche en équilibre, extrait d'une vidéo filmée le 12 mai, lendemain de la secousse, et postée sur le canal You Tube (*Noticias de hoy*)(*Terremoto en Lorca en HD*). Les pompiers font tomber la corniche juste avec un petit coup de pied. Source : *El Periodico de Hoy*. 157
- Figure 53. Schéma de la méthodologie utilisée pour l'analyse de l'exposition humaine pendant la période de crise sismique provoquée par le séisme de Lorca..... 158
- Figure 54. Exemple d'une zone de débris ou zone d'exposition. Source : *El Periodico de Hoy*..... 159
- Figure 55. Exemple du navigateur géographique disponible sur le site de la mairie de Lorca. On observe le code couleur appliqué à chaque bâtiment. Source : <http://www.lorca.es/ficheros/file/sitLorcaSeismo/index.asp>..... 161
- Figure 56. Extrait des bâtiments classés en rouge et en ruine. Données cadastrales de l'IGN. Fond carte : Images PNOA del Instituto Gografico Nacional. Evaluation des batiments : Source *Servicio de Urbanismo de Planeamiento y Gestion*. 163
- Figure 57. Exemple de mesure de la distance maximale d'impact. La flèche jaune nous donne un point de repère commun aux trois photos. Auteurs des photos : haut (REUTERS), gauche (La Verdad), droite (Luis Campoy)..... 167
- Figure 58. Exemple du calcul de la distance maximale d'impact. Auteur de la photo : La Verdad. 168
- Figure 59. Exemple du calcul de la distance d'impact maximale. Auteurs des photos : haut (RISMUR), milieu (REUTERS), bas (Google Street)..... 169
- Figure 60. Exemple de calcul de hauteur de bâtiment. La hauteur totale du bâtiment de 4 étages est de 13,5 mètres. Auteur de la photo : Manuel Martin (18/04/2011)..... 171
- Figure 61. Exemple d'un bâtiment de quatre étages, avec un sortant Auteur : SISMIMUR. 172
- Figure 62. Images extraites d'une vidéo où nous avons deux réactions simultanées de deux groupes (bleu et jaune) de personnes au moment de la deuxième secousse. En jaune, une mère et ses deux filles qui marchent sur la voie publique. Les débris d'un bâtiment tombent à quelques mètres d'elles. Ensuite, en bleu deux personnes sortent de la maison (à gauche) immédiatement après la secousse, elles aussi évitant de très peu les débris qui s'écroulent. Source : *A92 noticias*. (https://www.youtube.com/watch?v=oRFpc_t4M7s). 174
- Figure 63. Zoom sur la ville de Lorca. Exemple des bâtiments classés en rouge et en ruine (selon le service d'urbanisme de Lorca) et les zones d'exposition estimées correspondantes. Réalisation : Marc Bertran Rojo 2014. Fond carte : Images PNOA del Instituto Gografico Nacional..... 175

Figure 64. Instants suite au séisme Auteur : EFE Israel Sánchez.....	176
Figure 65 La population continue de se déplacer au centre de la voie publique 7 jours après l'évènement sismique. Auteur: Manuel Martin (18/04/2011)	177
Figure 66. Un individu se trouve bloqué sur la voie publique suite au tremblement de terre. Source : temblor-sismo-terremoto.blogspot.com.	178
Figure 67. Définition spatiale des tronçons d'exposition.	179
Figure 68. Pourcentage des bâtiments fragiles selon le nombre d'étages (N=453).	183
Figure 69. Proportion de bâtiments qui génèrent des zones d'exposition (traversées par les individus de l'échantillon) en fonction de nombre d'étages. Sur le graphique, la première valeur correspond au nombre d'étages des bâtiments, la deuxième est le pourcentage du nombre total de bâtiments considérés (N=64).	184
Figure 70. Proportion des tronçons d'exposition en fonction du nombre d'étages des bâtiments qui les génèrent. Sur le graphique, la première valeur correspond au nombre d'étages des bâtiments générateurs des tronçons d'exposition, et la deuxième au pourcentage de tronçons générés (N=151).	185
Figure 71. Synthèse de la conceptualisation de l'interaction entre l'individu et le danger. (A) Les individus marchent au milieu de la route (hypothèse initiale) (B) la trajectoire des individus peut varier par rapport à la ligne centrale de la route de 10 mètres (B) ou 20 mètres (C).....	187
Figure 72. Synthèse sur SIG de la conceptualisation de l'interaction entre l'individu et le danger. (A) Les individus marchent au milieu de la route (hypothèse initiale) (B) la trajectoire des individus varie de 10 mètres (bleu) ou 20 mètres (vert) par rapport au milieu de la route.	188
Figure 73. Nombre de zones d'exposition croisées par les individus de notre échantillon en fonction de la largeur du trajet (0, 10, 20 mètres).	189
Figure 74. Nombre de tronçons d'exposition en fonction de la largeur des trajets (10 et 20 mètres).	190
Figure 75. Vue de l'avenue Juan Carlos I deux jours après la secousse depuis un de ses bâtiments. Image extraite d'une vidéo d'un habitant de Lorca. Auteur: Carlos Segura.	191

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques principales de l'échantillon enquêté.	45
Tableau 2. Reclassification des catégories du cadastre. Les catégories de la première colonne ont été reclassées, les nouvelles catégories sont indiquées dans la deuxième colonne du tableau. Les chiffres romains indiquent le nombre d'étages.....	57
Tableau 3. Tableau résumé des tables créés qui font partie de notre base des données, issues des entretiens.	63
Tableau 4. Synthèse des tables collectées auprès du service d'urbanisme de Lorca, et qui sont intégrées dans notre base de données.	64
Tableau 5. Codes utilisés pour les trois actogrammes sur les lieux, les activités et les modes de transport.	72
Tableau 6. Synthèse des destinations choisies par les personnes évacuées. En orange les destinations situées à l'extérieur de la ville, en bleu les destinations situées dans le canton de Lorca, et en vert les individus qui n'ont pas évacué.	129
Tableau 7. Comparaison des différentes sources de données concernant la dangerosité des bâtiments.....	162
Tableau 8. Relation entre la hauteur des bâtiments (m) et la distance maximale d'impact observée (m). La ligne en bleu correspond au bâtiment écroulé. En orange, il s'agit de la valeur la plus fréquente.	173
Tableau 9. Tableau résumant la conjonction entre la mobilité des individus à la suite de la 2 ^o secousse et les bâtiments fragilisés lors du séisme. Les lignes qui commencent en bleu marquent les individus qui n'ont croisé aucune zone d'impact. Les quatre dernières colonnes présentent un dégradé des couleurs croisant. Les valeurs les plus élevées sont colorées en rouge, et les plus faibles en vert.	181

Annexes

Annexe 1 Informations envoyées aux témoins fictifs dans le cadre des entretiens test, avant les entretiens réels.

Datos necesarios para la creación de personajes ficticios (*juego de rol*)

1- Características de la ciudad y de su población:

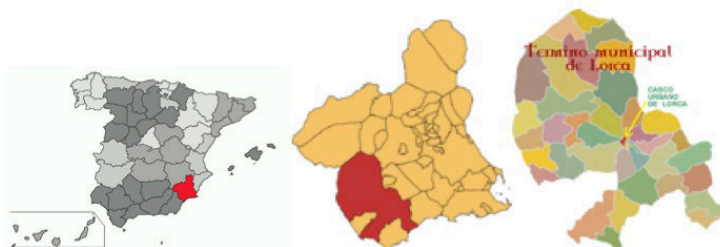
Casi 91.000 habitantes en el termino municipal. (Segunda ciudad mas extensa de España, 1.676km²) . El termino municipal, donde el terremoto ha causado los daños tiene 57.000 habitantes. Aproximadamente el 18% de la población es de origen extranjero, lo que supone una cifra estimada de unos 20.000 habitantes, la mayoría de origen ecuatoriano y norteafricano.

Foto para que os ambientéis en el tipo de ciudad española:



2- Situación geográfica:

Para que hagáis una idea del paisaje que puede haber...



3- Características de los seísmos y del contexto: (informaciones básicas para imaginar la que va a ser vuestra historia)

El **primer seísmo** se produjo un miércoles **11 de Mayo a las 17:05** con una magnitud de Mv 4,1 y 5 segundos de duración. Algún testimonio habla que lo llamaron para informar que posiblemente habría otro terremoto. (Os dejo la elección de imaginar si a vosotros os llamaron o no...)

Situaciones:

Calles con personas desconcertadas.

Sirenas y niños llorando.

Grietas en edificios y azulejos por el suelo.

Curiosos haciendo fotos de los desperfectos ente los pequeños escombros.

Algunos no entran en casa por miedo a réplicas.

Tras este primer movimiento, el Centro de Coordinación de Emergencias recibió 250 llamadas. (Llamasteis vosotros?)

Desde que se produjo el primer terremoto la Gerencia de Emergencias Sanitarias activó su plan de alarma, movilizando a las 14 Unidades de Emergencias Sanitarias disponibles, trasladando a la zona 7 UCI móviles, un vehículo de intervención rápida y un Hospital de Campaña en el que se estaba atendiendo a decenas de heridos, ya que **el Hospital Rafael Méndez estaba siendo desalojado.**

Casi dos horas mas tarde, a **las 18:47 hay el segundo terremoto de 5,1. (Aquí la cosa se pone muy seria)**

4- Si queréis ver algún video:

Del terremoto en si:

<http://www.youtube.com/watch?v=RU1uCDsfUcU>

De las consecuencias:

<http://www.youtube.com/watch?v=E0sdI95CcVM>

Consecuencias:

- 9 muertos
- mas de 300 heridos
- De momento 200 edificios demolidos
- De 7 500 à 11 000 personas sin casa
- 1 edificio de desploma completamente
- 50 millones de euros de daños en patrimonio histórico
- Los barrios mas tocados son La Viña, San Cristóbal y San Diego
- 135 réplicas contabilizadas hasta el día 14 de julio, de las cuales fueron sentidas 16, alcanzando solo una de ellas el grado IV

5- Consecuencias logísticas :

Hospital Rafael Mendez como el Hospital Virgen del Alcazar evacuado por los daños cinco zonas de asistencia. Esa primera noche como la mayoría que vendrán una gran parte de la población va a dormir en espacios habilitados por la cruz roja, los militares etc.

6- Como imaginar vuestro personaje?

Os lo tenéis que tomar como un juego de rol. Os imagináis quien sois, donde vivís si tenéis familia, si os habéis quedado sin casa si tenéis padres hermanos o hijos en la misma ciudad. La idea es que durante un tiempo penséis en el contexto que yo os doy. Que haríais y que habéis hecho concretamente? Como ha sido traumático para vosotros, seguro que se os ha quedado grabado en la memoria cada reflejo, cada desplazamiento cada impresión cada sensación. Es importante que os acordéis de manera lo mas precisa posible la tarde del miércoles (la del terremoto). También podéis imaginar que sois vosotros mismos que vivís allí, lo que queráis.

La "encuesta" va a durar entre 15 y 45 minutos en función de los detalles que recordéis y los trayectos o movimientos que habéis hecho. Es importante que no lo dejéis todo al azar y que os montéis una historia un poco pautada a la que podréis añadir o improvisar detalles que no se os han ocurrido pensar.

Se aceptan todo tipo de invenciones que se os ocurran y si alguno llora durante la entrevista le hago carantoñas para animarlo. También al loro que hay mucha población extranjera... Pensad que por lo que vi cuando estuve poco después del terremoto, realmente ha sido lo mas bestia que la mayoría han vivido. Durante el terremoto y justo después muchos temieron por sus vidas y a la vista de cómo quedaron las calles las consecuencias podrían haber sido mucho mas graves. Os dejo decidir...

Annexe 2 Deuxième partie de la grille d'entretien. Page 1, compilation des informations relatives aux changements dus au séisme et questions ouvertes en fin d'entretien. Page 2, grille pour collecter les informations sur la mobilité post crise.

T1 9 MESES DESPUES DE TERREMOTO

VIVIENDA PERSONAL

Tipo construcción :
 Numero de Plantas :
 Piso de la vivienda :
 Propietario / Alquiler :
 Co-habitantes :
 Dirección :

SITUACION FAMILIAR

Edad :
 Estado Civil :
 Nb de hijos :
 Edades comprendidas entre : _____
 Ca cambiado de profesión y/o lugar de trabajo después del terremoto?

 Profesión T0 :
 Profesión T1:
 Situación laboral T0 :
 Situación laboral T1:
 Lugar de trabajoT0:
 Lugar de trabajoT1:
 Otros datos de interés:

A/ Después de los terremotos se quedo en Lorca o se fue? (T0-T actual)

1. *Se quedo en su misma casa* (no rellenar la tabla)
2. *Se fue* (rellenar la tabla)

B/ Si hacemos un balance de cómo ha vivido estos 9 meses. Cuénteme como se ha **adaptado** a los acontecimientos? (T0 - T actual)

C/ Cuales son los **cambios** a los que le ha costado o le está costando más **adaptarse**? (T0 - T actual)

D/ Por qué razones **escogió** hacer una cosa y no otra? Posibilidades, alternativas?

E/ Como ha cambiado su **vida actual** respecto a antes del terremoto. (T actual)

Cuestiones importantes y aspectos susceptibles de haber cambiado:

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Familiares</i> <input type="checkbox"/> | 4. <i>Salud</i> <input type="checkbox"/> |
| 2. <i>Económicos</i> <input type="checkbox"/> | 5. <i>logística cotidiana (día-día)</i> <input type="checkbox"/> |
| 3. <i>Laborales</i> <input type="checkbox"/> | 6. <i>Proyectos personales</i> <input type="checkbox"/> |

F/ Ha recibido ayudas, de quien i porque razones. Como las valora?

DESPLAZAMIENTOS:

N°	Fecha	Origen	Destinación	Lugar social	Miembros	Motivo del desplazamiento
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

Annexe 3 Article qui fait une réflexion sur les raisons pour lesquelles les sociétés oublient les catastrophes qui ont lieu souvent. (<http://www.abc.es/20120601/internacional/rc-amnesia-sismica-201206011338.html>)



INTERNACIONAL / ANÁLISIS

Amnesia sísmica

Las réplicas a un promedio de una cada hora sobrepasan la centena en el norte de Italia, algunas de ellas mayores de 5 grados de magnitud

ANTONIO ARETXABALA / GEÓLOGO. ESCUELA DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD DE NAVARRA

Día 01/06/2012 - 13.49h

Tristemente se confirmó ayer: se ha encontrado el cuerpo sin vida de la víctima número 17 que quedaba atrapada entre los escombros del último terremoto. Seis murieron el día 20 y los dichos el día 29. Las réplicas a un promedio de una cada hora sobrepasan la centena, algunas de ellas mayores de 5 grados de magnitud. La norma de construcción sismorresistente italiana de 2004 ya no contaba con el carácter sismogénico de esas fallas dormidas durante 450 años. La memoria sísmica de las gentes de Emilia Romagna ha sufrido una amnesia de cuatro siglos y unas tremendas consecuencias humanas, sociales, económicas y patrimoniales. Ferrara (Patrimonio de la Humanidad) es la primera ciudad moderna de Europa, diseñada urbanísticamente ya en el siglo XIV, contó con lo que entonces era un fenómeno bien conocido. Cuanto más se sabe de estos nuevos terremotos italianos en su aspecto científico, más se nos parecen a los de Lorca de 2011, y menos a l'Aquila 2009.

Las fallas españolas activas aparecen implícitas en nuestra norma sismorresistente (NCSE02). Las que consideramos inactivas no. Las primeras afectarían a un total de 2618 localidades situadas en zonas con riesgo sísmico, en 724 se aglomeran más de 5000 habitantes, una población de más de 20 millones de personas. De las segundas casi nada sabemos. No obstante, a pesar de ser España un país sísmico, no existe una conciencia histórica de élite sectorial o de altura científica con cierta proyección popular, tampoco universitaria, sobre el riesgo sísmico y su importancia. El largo tiempo transcurrido, casi 130 años, desde el catastrófico terremoto de Andalucía de 1884 con cerca de 1200 muertos y una destrucción que llegó al grado X, ha conformado también nuestra amnesia

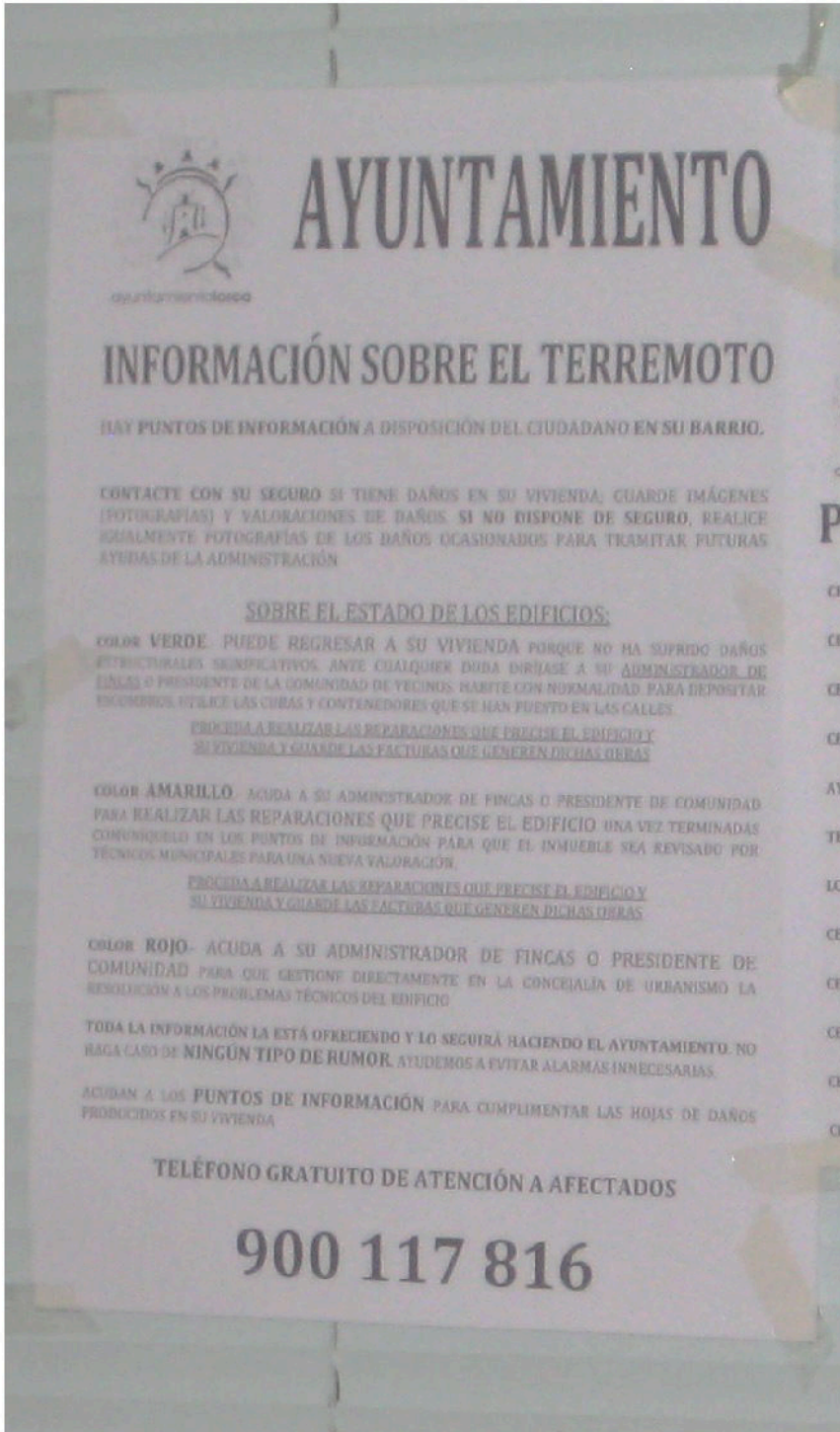
sísmica.

Durante este tiempo nos hemos triplicado, hemos pasado de unos 16 millones de personas viviendo fundamentalmente en un ambiente rural e inmóvil, a 47 millones predominantemente urbanos y de alta movilidad. Ahí es donde radica el mayor peligro, y mucho más ahora que antes. Las mejores armas para salir airosos si se producen terremotos las tenemos, pero guardadas; la avanzada ley del suelo de 2008 sigue metida en los cajones de las autonomías, aunque casi nadie la entiende, es la amnesia. La población en general no sabría cómo reaccionar ante un terremoto, menos aún conoce las zonas más sísmicas del propio país, las más concurridas.

Asimismo la población más especializada, o cultivada al respecto, cree que son los ingenieros y los dirigentes los encargados de mitigar desastres a través del cumplir y hacer cumplir normas sismorresistentes cada vez más refinadas. Los ingenieros también creen que son ellos los designados a conducirnos hacia ese fin aplicando teóricos postulados que la naturaleza siempre supera, sobre el objeto de sus estudios: los edificios y sus estructuras, es decir, las piezas del sistema. Pero el verdadero escenario sísmico del siglo XXI es la ciudad. Las normas de construcción sismorresistente, no han sido, no son y nunca serán suficientes. Las ciudades españolas han sido diseñadas con leyes urbanísticas inspiradas en el siglo XX por todo (incluso cualquier tipo de interés individual o especulativo) menos por criterios de diseño anti-sísmico. La realidad es que la historia de España, salvando este lapso de 130 años justo a la entrada de la modernidad, en los últimos siete siglos, está repleta de ejemplos de terremotos destructivos con intensidades por encima de VIII en la escala Mercalli (por encima de 5 a 6 en la de Richter), "los temblores de tierras" y el qué hacer si brotaban, eran temas de estudio en las escuelas y universidades hasta hace cien años. La cultura de la sismicidad es un fenómeno que no se ha actualizado como otros aspectos del país.

La amnesia sísmica de la población, medios y dirigentes, parece dominar sobre los esporádicos brotes de interés cuando algo como lo de Lorca o Ferrara nos despierta la curiosidad, nos hace reflexionar y los bares del país se llenan de expertos geólogos, arquitectos e ingenieros. Luego remite y otra vez se duerme.

Annexe 4 Information sur la signification du classement des bâtiments communiquée par la mairie.



Annexe 5 Article de journal sur l'incertitude créée par les évaluations des techniciens et architectes. (www.20minutos.es/noticia/1052367/0/lorca/terremoto/viviendas/)

Casas calificadas de "habitables" pasan a "ruina" en Lorca



Un hombre fotografía un edificio dañado en la barriada de La Viña de Lorca. (Israel Sánchez / EFE)

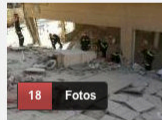
- Los técnicos atribuyen el cambio de criterio a las réplicas o a daños que antes no se vieron tras los dos terremotos del pasado miércoles.
- Los vecinos de Lorca no se fian y dudan si entrar en sus casas.

ECO Actividad social ¿Qué es esto? 59% 28

Seguir a @20m 5 0 146

TANIA COSTA. 17.05.2011

Fotogalería



Lorca, recuperarse tras el terremoto

Fotogalería



Terremoto en Lorca

Parece Afganistán. Es el barrio de La Viña, a las afueras de Lorca, el más castigado por los [dos terremotos de 4.4 y 5.1 grados](#) que sacudieron la ciudad el miércoles pasado.

En medio de la calle Herrería está Juani, una lorquina, con un **ataque de ansiedad**. Venía a su casa a recoger cristales. El jueves le pusieron una marca verde en la puerta, que significa que es habitable, y este lunes los técnicos rectificaron y le han puesto un círculo rojo: está en ruina. No se puede entrar.

No te puedes fiar. Lo tienes hoy verde, y mañana, de color rojo

Pero su marido entra y sale con cajas. Se mudan a la casa de campo que tienen. "No te puedes fiar. Lo tienes hoy verde, y mañana, rojo. Hay que dar gracias a Dios por estar todos bien", la compadece una vecina. El edificio de Juani tiene 15 años; le quedan cinco de hipoteca (300 euros al mes). "Toda tu vida ahorrando para nada", dice.

De rojo, a amarillo

Tan confundido como Juani está Pascual Zamora, de 65 años. Su casa tenía la marca roja (en ruina) y este lunes le pusieron una amarilla (no es habitable, pero la estructura está intacta). "Los colores los cambian. No me fio. **Duermo en un colchón en el suelo** en la casa de mi cuñado. Los tabiques se han abierto. Las puertas se han desplomado y no veas cómo están las costuras del edificio", explica mientras observa el desescombros de la calle Jardineró. La suya.

Carmen Alarcos Alcázar se acercó, desde Vélez Rubio, a ver las **ruinas de su edificio** en la calle Infante Juan Manuel, de La Viña, el único que se desplomó en la ciudad con el segundo terremoto. Tenía 18 casas y 10 años de antigüedad. "¡Miral, el cojin de nuestra cama", le comenta a su marido, señalando un hiillo rojo entre montañas de hormigón.

La portería de su edificio, lo único que quedó en pie, tenía una señal amarilla y le pusieron ahora una negra: lo peor. Hay que tirarla. Según dos técnicos consultados por este periódico, el **cambio de criterio** se debe al impacto de las réplicas registradas, a que los cimientos siguen cediendo, a que el epicentro se localizó a dos metros de profundidad y, en el peor de los casos, a que ahora se están detectando daños que los primeros técnicos, muchos de ellos voluntarios, no apreciaron antes.

Según el Ayuntamiento, el 75% de los 4.100 edificios de Lorca afectados por los terremotos están en código verde (se pueden habitar); el 20%, en amarillo, y el 5%, en rojo. Y 17 inmuebles tienen el "código rojo" por "daños estructurales de mucha envergadura".

"Me han robado la tele y el sofá"

Puede que el caso de Geovana Cordero sea una excepción. El suelo de su casa, en un primer piso de la calle Herrería, 4, del barrio La Viña de Lorca se vino abajo con el segundo terremoto y fue a dar al garaje de su edificio. Solamente quedó en pie el salón, sin la pared que da a la calle. Cuando ella, su marido y dos niñas pequeñas regresaron a ver si podían salvar algo, ya les habían robado la tele, el equipo de música y el sofá. "**No hay corazón alguno**", se lamenta.

