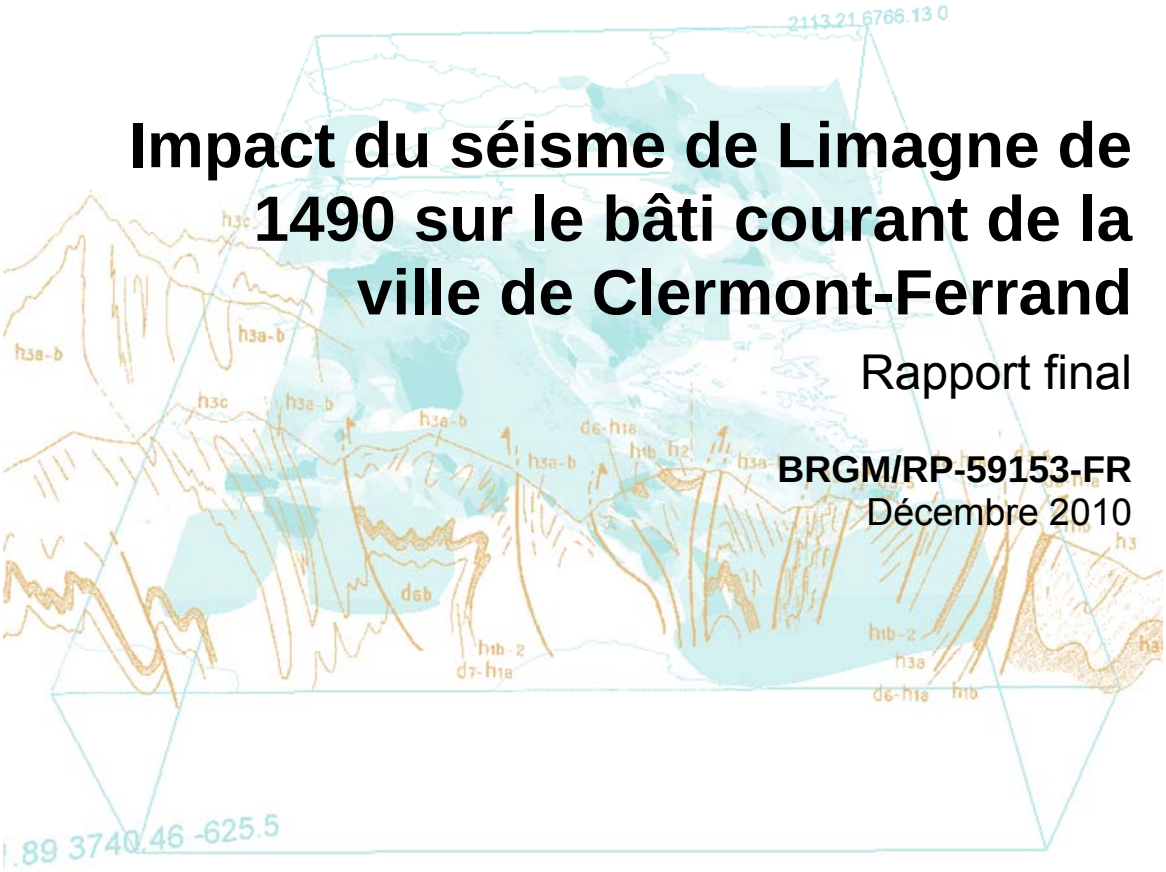
Document public

Impact du séisme de Limagne de 1490 sur le bâti courant de la ville de Clermont-Ferrand

Rapport final

BRGM/RP-59153-FR
Décembre 2010



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
AUVERGNE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Impact du séisme de Limagne de 1490 sur le bâti courant de la ville de Clermont-Ferrand

Rapport final

BRGM/RP-59153-FR
Décembre 2010

Etude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM
Convention BRGM/DREAL SP 10106

J. Rey, S. Auclair, J. Lambert, D. Monfort-Climent, E. Vanoudheusden

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : O. Sedan	Nom : Ph. Rocher
Date : 27/05/2011	Date : 01/06/2011
Signature :	Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
AUVERGNE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Aléa sismique, scénario de risque, Clermont-Ferrand, 1490, séisme, vulnérabilité

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Rey J., Auclair S., Lambert J., Monfort-Climent D., Vanoudheusden E. (2010) – Impact du séisme de Limagne de 1490 sur le bâti courant de la ville de Clermont-Ferrand. Rapport final BRGM/RP-59153-FR. 58 p., 27 fig., 4 tabl., 1 annexe.

© BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les conclusions de l'étude de pré-diagnostic de microzonage sismique pour la commune de Clermont-Ferrand, réalisée par le BRGM en 2009 (rapport RP-57129-FR, Rey et al. 2009), indiquent qu'il est pertinent de procéder à la réalisation d'un microzonage sismique.

D'autre part, la publication récente de la nouvelle réglementation parasismique en octobre 2010 impose de nouvelles mesures obligatoires de construction parasismique en Auvergne (décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique publié au Journal Officiel le 24 octobre 2010, ainsi que l'arrêté correspondant portant sur les constructions à risque normal). C'est dans ce contexte qu'une valorisation des travaux menés dans le cadre du pré-diagnostic de microzonage sismique sous forme d'un scénario de dommages reproduisant le séisme historique majeur ayant touché la région est apparue utile. Le but de cet exercice est principalement de sensibiliser et d'informer les élus, gestionnaires, constructeurs, particuliers aux conséquences d'un événement sismique sur le territoire de la commune de Clermont-Ferrand. Le niveau de précision attendu, sommaire, est toutefois largement compatible avec cet objectif.

Le séisme historique le plus important survenu en Auvergne est à ce jour celui du 1er mars 1490 (dit « séisme de Limagne ou de Riom »), d'intensité épicentrale évaluée à VIII (dégâts massifs) et ressenti à Clermont-Ferrand avec une intensité de VII-VIII MSK (dommages prononcés).

Une estimation de tout premier ordre des dommages susceptibles d'être générés aujourd'hui par un événement identique sur la commune de Clermont-Ferrand a été réalisée par l'intérmédiaire d'un scénario de dommages. Les résultats correspondants sont présentés pour les différents îlots IRIS de la commune, puis sur une grille avec un pas de 500 mètres de coté. L'influence respective des effets de site d'une part et de la vulnérabilité des structures d'autre part est estimée.

A l'issue d'une étude basée sur les sources documentaires contemporaines du séisme, un recensement des dommages a été entrepris. Un scénario a également été mis en œuvre à partir des données d'urbanisation supposées de l'époque. Ceci permet d'illustrer l'évolution urbaine et la vulnérabilité des constructions depuis le XVème siècle.

Ce travail, dont les limites scientifiques doivent être gardées à l'esprit, permet une évaluation globale des niveaux de dommages susceptibles d'être occasionnés sur le bâti actuel si un séisme semblable à celui de 1490 venait à atteindre la ville de Clermont-Ferrand.

Enfin, la restitution de ces résultats auprès des élus doit être effective prochainement.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Méthodologie générale 11

3. Aléa sismique 13

3.1. SEISME DE SCENARIO 13

3.2. ESTIMATION DES MOUVEMENTS DU SOL 13

3.3. ESTIMATION FORFAITAIRE DES EFFETS DE SITE LITHOLOGIQUES 15

4. Vulnérabilité 19

4.1. VULNERABILITE PHYSIQUE DES OUVRAGES 19
4.1.1. Les classes de vulnérabilité EMS98 19
4.1.2. Fonctions de vulnérabilité 22

4.2. VULNERABILITE DE LA COMMUNE DE CLERMONT-FERRAND 23
4.2.1. Vulnérabilité de la maison individuelle 23
4.2.2. Typologie de l'habitat collectif 26
4.2.3. Répartition sur l'ensemble de la ville 28

4.3. NIVEAU DE PRECISION DES SIMULATIONS REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE 31

5. Scénario actuel : estimation de l'impact du séisme de 1490 sur le bâti courant de Clermont-Ferrand en 2010 33

5.1. SCENARIO REALISE ET RESULTATS 33

5.2. ETUDES COMPLEMENTAIRES 35
5.2.1. Représentation des résultats sous forme de grille 35
5.2.2. Estimation de l'influence respective de la vulnérabilité et des effets de site dans les résultats obtenus 37

6. Scénario historique : estimation de l'impact du séisme de 1490 sur le bâti de l'époque 41

6.1. CLERMONT-FERRAND ET LE TREMBLEMENT DE TERRE AUVERGNAT DU 1ER MARS 1490 41
6.1.1. Aperçu de la ville de Clermont à la fin XVème siècle 43

6.1.2. Estimation de la population des villes de Clermont en 1490 47
6.1.3. Les effets du séisme du 1er mars 1490 48

6.2. HYPOTHESES RETENUES POUR CE SCENARIO HISTORIQUE 50

6.3. RESULTATS DES SIMULATIONS 51

7. Conclusion 53

8. Bibliographie 55

Liste des figures

Figure 1 - Estimation de l'intensité macrosismique pour le séisme du 1er mars 1490 à partir de la relation de Bakun et Scotti (2006)....15

Figure 2 - Zonage forfaitaire des effets de site lithologiques sur la commune de Clermont-Ferrand....16

Figure 3 - Comparaison de plusieurs relations de conversion entre intensités et accélérations....17

Figure 4 - Typologie des bâtiments et classes de vulnérabilité de l'échelle EMS98....20

Figure 5 - Fonctions d'appartenance des différents indices de vulnérabilité....21

Figure 6 - Classification des dégâts selon l'Echelle Macrosismique Européenne....22

Figure 7 - Exemples de maisons individuelles d'avant-guerre à Clermont-Ferrand. A) exemple d'une maison en maçonnerie de pierre de Volvic dans le centre historique de Montferrand. B) maison individuelle dans un quartier periphérique du centre historique de Clermont bâti entre la fin du XIX siècle et les années 1950 et C) pavillon d'une cité Michelin....25

Figure 8 - Exemples de maison individuelle d'après-guerre. A) maison bâtie dans les années 1950-60 ; B) maison des années 1970-1980 et C) lotissement de construction récente....25

Figure 9 - Exemple d'une rue du centre historique de Clermont-Ferrand avec des immeubles de logement collectif (construits avant 1915) en maçonnerie de pierre de Volvic....27

Figure 10 - Grand immeuble HLM construit avant 1974 en éléments préfabriqués (îlot 2301)....27

Figure 11 - Habitat collectif de construction récente (murs en béton préfabriqués)....28

Figure 12 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité B par îlots IRIS....29

Figure 13 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité C par îlots IRIS....30

Figure 14 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité D et E par îlots IRIS....30

Figure 15 - Pourcentages de bâtiments fortement endommagés ou détruits par îlots IRIS....34

Figure 16 - Pourcentages de bâtiments moyennement endommagés par îlots IRIS....35

Figure 17 - Pourcentages de bâtiments fortement endommagés ou détruits selon une grille de 500 m de côté....36

Figure 18 - Pourcentages de bâtiments moyennement endommagés selon une grille de 500 m de côté....37

Figure 19 - Carte du poids de l'aléa local....38

Figure 20 - Carte du poids de la vulnérabilité....39

Figure 21 - La ville de Clermont et le château de Montferrand en 1739 (extrait de la « Carte de la ville et des environs de Clairmont-Ferrand » par Lescuyer de la Jonchère, collection, Bibliothèque Nationale de France)....42

Figure 22 - La ville de Clermont-Ferrand en 1739 (extrait de la « Carte de la ville et des environs de Clairmont-Ferrand » par Lescuyer de la Jonchère, collection, Bibliothèque Nationale de France) 42

Figure 23 - « Veue de la ville, comté et evesché de Clermont en Auvergne » en 1460 par Louis Boudan (collection Bibliothèque Nationale de France) 44

Figure 24 - « La ville et cité de Clermont en Auvergne » en 1574 d'après un dessin du Clermontois François Fuzier (1574) 45

Figure 25 - Plan de Clermont-Ferrand vers 1725 : les édifices remarquables et le tracé des fortifications (collection bibliothèque communautaitre et interuniversitaire de Clermont-Ferrand) 46

Figure 26 - Localisation des principaux dommages relevés lors du séisme de Limagne de 1490 sur la ville de Clermont 49

Figure 27 - Localisation des 4 zones bâties supposées en 1490 utilisées pour le scénario sismique 51

Liste des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques du séisme du 1er mars 1490 retenues pour le scénario 13

Tableau 2 - Expression des équations de prédictions de l'intensité testées pour le calage du scénario de risque sismique 14

Tableau 3 - Estimations de l'intensité macrosismique pour le séisme du 1er mars 1490 à partir de différentes relations 14

Tableau 4 - Prise en compte forfaitaire des effets de site lithologiques, I_{BS06} étant l'intensité estimée à l'aide de la relation de Bakun et Scotti (2006) 18

1. Introduction

Lors de la présentation des résultats de l'étude de pré-diagnostic de microzonage sismique de Clermont-Ferrand (rapport BRGM RP-57129-FR, Rey et al. 2009) aux Services techniques de la ville en mai 2010, une valorisation de ces résultats auprès des élus a paru interessante, notamment en termes de politique d'aménagement par exemple. Plus que des informations à caractère technique, ce sont les résultats globaux qu'il est intéressant de considérer.

A cet égard, la DREAL Auvergne a demandé au BRGM (convention BRGM/DREAL SP 10106 du 20 septembre 2010) de réaliser un scénario de dommages portant sur la commune de Clermont-Ferrand afin de valoriser les résultats obtenus dans le cadre du pré-diagnostic de microzonage sismique.

Nous rappelons que les éléments indispensables pour établir un scénario de dommage sont l'estimation des mouvements sismiques liés à l'aléa régional et à l'aléa local, ainsi que l'estimation de la vulnérabilité du bâti à l'échelle communale. Ces informations sont en grande partie disponibles en utilisant les résultats de l'étude de Rey et al. (2009).

La présente étude vise ainsi à estimer les dommages qui seraient occasionnés par un séisme destructeur sur la commune de Clermont-Ferrand. Le séisme du 1er mars 1490 étant le plus important séisme actuellement recensé dans la région depuis la période historique, ce séisme a été utilisé comme base pour la définition du scénario de manière à entreprendre les simulations suivantes :

- scénario bâti actuel : les dommages qui seraient générés par un séisme similaire à celui de 1490 sur le bâti actuel de la ville de Clermont-Ferrand sont estimés ;

- scénario historique : les dommages du séisme de 1490 sur le bâti de l'époque sont estimés à l'issue d'une étude documentaire, et parallèlement un scénario similaire à celui décrit ci-dessus est réalisé sur le bâti estimé de l'époque.

2. Méthodologie générale

Les scénarios de risque sismique conduisant à l'évaluation des conséquences dommageables d'un séisme simulé sont un outil précieux d'évaluation du risque sismique au niveau du bâti existant.

Les trois composantes nécessaires à l'établissement d'un scénario de risque sismique sont :

- l'aléa ou le séisme de scénario caractérisant l'agression ;
- la valeur des éléments exposés caractérisant les enjeux ;
- la vulnérabilité des éléments exposés.

Le risque (R) est par définition la convolution de l'aléa A, de la vulnérabilité V et de la valeur de l'élément exposé E : R = A.V.E.

Cette équation théorique se base sur les définitions données lors de la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles [DIPCN92] :

- Risque : « Espérance mathématique de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et dans une région donnée, pour un aléa particulier » ;
- Aléa : « Evénement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée, d'un phénomène pouvant engendrer des dommages » ;
- Eléments exposés ou éléments à risque : « Population, constructions et ouvrages de génie civil, activités économiques, services et infrastructures publiques, etc., exposés à un aléa ». Un élément exposé ayant une valeur constitue un enjeu ;
- Vulnérabilité : « Degré de perte (de 0 % à 100 %) d'un élément à risque résultant d'un phénomène susceptible d'engendrer des victimes et des dommages matériels ».

Cette méthodologie est mise en œuvre pour la ville de Clermont-Ferrand afin d'estimer le risque sismique basé sur les résultats du pré-diagnostic de microzonage sismique (Rey *et al.,* 2009). Les enjeux traités dans le cadre de ce rapport sont les bâtiments de classe II à usage d'habitation (selon les EuroCode 8). Le logiciel utilisé pour l'analyse de risque sismique de la commune de Clermont-Ferrand est « Armagedom », logiciel développé par le BRGM et conduisant à simuler les conséquences de phénomènes naturels avec l'objectif d'évaluer les possibles dégâts occasionnés.

Les résultats obtenus à l'aide d'Armagedom permettent de mettre en évidence une estimation préliminaire des dégâts sur le bâti courant, et ce à partir des résultats de l'étude de Rey *et al.* (2009).

3. Aléa sismique

La première étape du travail consiste à définir le niveau d'aléa devant être retenu pour le scénario de risque sismique. Autrement dit, cela consiste à dresser une carte des mouvements du sol représentatifs du séisme considéré afin d'évaluer la réponse des enjeux en présence par le croisement avec l'évaluation de la vulnérabilité au niveau de la commune.

3.1. SEISME DE SCENARIO

Le séisme de scénario retenu pour cet exercice est l'événement historique du 1er mars 1490 dont l'épicentre est localisé, dans l'état des connaissances actuelles, à une dizaine de kilomètres au Nord-Ouest de Clermont-Ferrand. D'après les archives, ce séisme occasionna de nombreux dommages dans la région. Les caractéristiques retenues pour ce séisme sont reportées dans le Tableau 1 ci-dessous.

	Caractéristiques
Date	01/03/1490
Magnitude macrosismique	5.7
Profondeur focale (km)	15
Intensité épicentrale I_0 (échelle MSK en XII degrés)	VIII
Intensité communale Clermont-Ferrand (MSK)	VII-VIII
Localisation	2.97° E / 45.83° N

Tableau 1 - Caractéristiques du séisme du 1er mars 1490 retenues pour le scénario

3.2. ESTIMATION DES MOUVEMENTS DU SOL

Afin de permettre le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité et d'évaluer ainsi le niveau de risque sismique, le logiciel de scénario sismique Armagedom permet de traduire l'aléa sismique en termes d'intensité macrosismique.

Il convient à ce stade de signaler qu'à la fin du XVe siècle, la cité de Clermont était beaucoup moins étendue que ne l'est l'actuelle ville de Clermont-Ferrand. (cf. § 6)

Ceci implique que les témoignages des dommages ayant permis d'évaluer une intensité communale de degré VII-VIII à Clermont lors du séisme de 1490 concernent majoritairement la ville au sens historique du terme, c'est-à-dire à l'intérieur des remparts.

Pour réaliser le scénario le plus vraisemblable, il a par conséquent été nécessaire d'évaluer l'intensité en tout point du territoire communal, en intégrant la notion d'aléa

sismique local lié à la présence de nombreuses formations susceptibles d'être associés à des effets de site lithologiques (cf. Rey *et al.*, 2008).

Aussi, nous avons dans un premier temps procédé à l'élaboration d'une carte en intensité, considérée ici comme une variable continue représentative des mouvements sismiques. Pour cela, nous avons utilisé différentes équations prédictives de l'intensité qui relient l'intensité macrosismique au rocher en fonction de la magnitude du séisme et de la distance focale. Afin de s'affranchir de l'usage de la magnitude qui est généralement mal contrainte pour les séismes historiques, nous avons réécrit ces formules de manière à exprimer l'intensité en fonction de l'intensité épicentrale et de la distance au séisme.

Auteurs	Région	Expression I=f(M)
Arroucau et al. (2006)	France	$I = I_0 + 0.59 - 1.50 \times 10^{-3} \times D_{épi} - 1.69 \times \log_{10}(D_{épi})$
Bakun et Scotti (2006)	Massif armoricain	$I = 4.28 + 1.27 \times M - 3.26 \times \log_{10}(D_{foc})$ ou $I = I_0 - 3.26 \times \log_{10}(D_{foc}/z_{foc})$
Souriau et al. (2006)	France	$M_{ldg}=0.45 \times I + 1.63 \times \log_{10}(D_{foc}) + 0.61$ ou $I = I_0 - 1.63 \times \log_{10}(D_{foc}/z_{foc}) / 0.45$
Levret et al. (1994)	France	$M_{ldg} = 0.44 \times I + 1.48 \times \log_{10}(D_{foc}) + 0.48$ ou $I = I_0 - 1.48 \times \log_{10}(D_{foc}/z_{foc}) / 0.44$

Tableau 2 - Expression des équations de prédictions de l'intensité testées pour le calage du scénario de risque sismique

En testant ces relations avec les paramètres du séisme reportés dans le Tableau 1, il ressort un bon accord entre les différents résultats obtenus, à l'exception notable de la relation d'Arroucau *et al.* (2006) qui semble sous-estimer nettement les intensités (cf. Figure 1 et Tableau 3). Par la suite, nous retiendrons pour nos calculs la relation de Bakun et Scotti (2006).

Intensité estimée (MSK)	Arroucau et al. (2006)	Bakun et Scotti (2006)	Souriau et al. (2006)	Levret et al. (1994)
Centre ville (cathédrale) – *pt.2*	6.8	7.4	7.4	7.4
Max Clermont-Ferrand – *pt.1*	7.0	7.6	7.6	7.6
Min Clermont-Ferrand – *pt.3*	6.5	7.0	6.9	7.0

Tableau 3 - Estimations de l'intensité macrosismique pour le séisme du 1er mars 1490 à partir de différentes relations

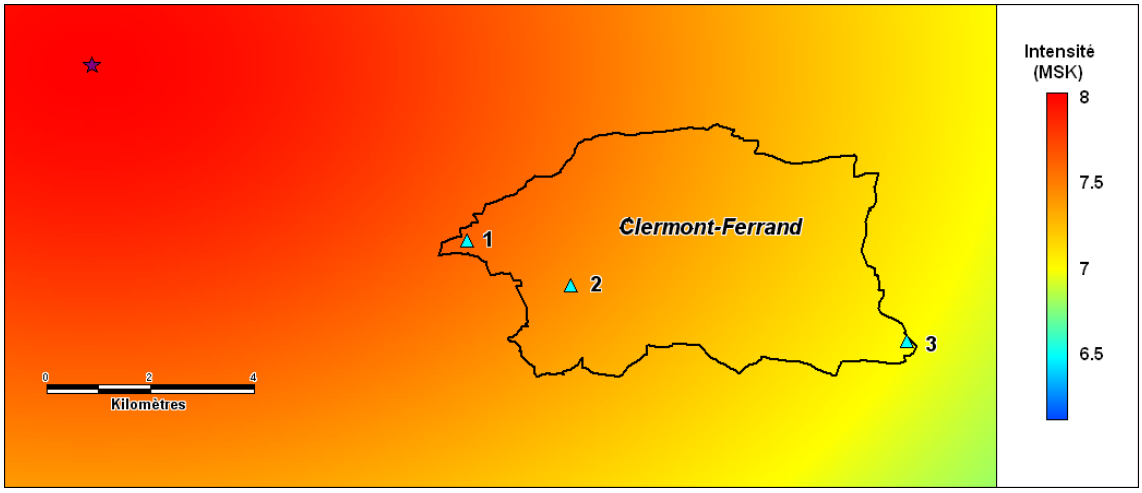


Figure 1 - Estimation de l'intensité macrosismique pour le séisme du 1er mars 1490 à partir de la relation de Bakun et Scotti (2006)

L'étoile mauve représente l'épicentre du séisme, et les triangles cyan les trois points d'observation virtuels utilisés dans le Tableau 3.

Les résultats ainsi obtenus sont sensés être représentatifs des niveaux d'intensité attendus pour des conditions de sol moyennes, les relations utilisées ne prenant pas en compte les effets de site lithologiques (données utilisées provenant de tous types de sol confondus). Par conséquent, il est nécessaire de moduler cette estimation brute afin de tenir compte des éventuels effets de site lithologiques.

3.3. ESTIMATION FORFAITAIRE DES EFFETS DE SITE LITHOLOGIQUES

En complétant l'analyse réalisée dans le cadre de l'étude de Rey *et al.* (2009) à partir des données de sondages disponibles dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, une colonne simplifiée a pu être établie pour chaque zone de la carte géologique, suivant les quelques règles suivantes :

- dans les zones contenant un ou plusieurs logs validés, seuls ces forages ont été exploités ;

- dans les zones sans log validé, les forages les plus profonds ont été utilisés, et certains pressiométres ;

- dans les zones sans log géologique, la colonne a été définie par analogie avec une colonne d'une autre zone située sur la commune de Clermont-Ferrand, à la même dénomination ;

- dans les zones sans log géologique, sans information dans une zone analogue sur la commune, les informations ont été recherchées dans des zones à la dénomination analogue en dehors de la commune ;

- dans le cas des zones portant les indices m1, m-p et Â1 sur la carte géologique à 1/50 000, aucune information n'était disponible sur la commune ou en dehors ; par défaut, nous avons donc retenu le niveau le plus fort d'effet de site pour les 2 premières, et pas d'effet de site pour la dernière.

Sur cette base, nous avons retenu trois zones (cf. Figure 2) :

- **Zone 1 – pas d'effets de site lithologiques :** moins de 5 m de terrains aux caractéristiques mécaniques générant des effets de site – coefficient d'amplification forfaitaire en accélération de 1 ;
- **Zone 2 – effets de site lithologiques faibles :** de 5 à 15 m de terrains aux caractéristiques mécaniques générant des effets de site – coefficient d'amplification forfaitaire en accélération de 1.15 ;
- **Zone 3 – effets de site lithologiques modérés :** plus de 15 m de terrains aux caractéristiques mécaniques générant des effets de site – coefficient d'amplification forfaitaire en accélération de 1.3.

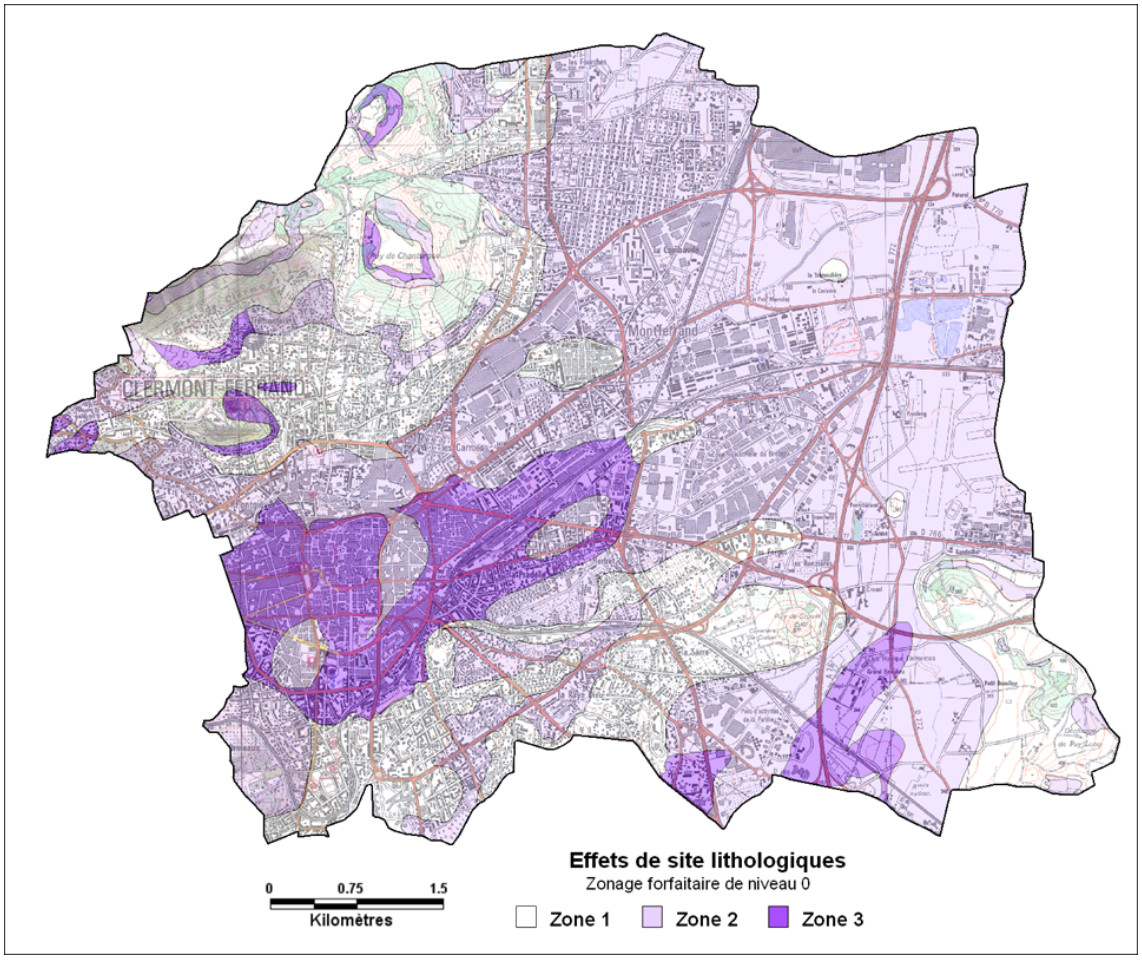


Figure 2 - Zonage forfaitaire des effets de site lithologiques sur la commune de Clermont-Ferrand

Nous avons ici supposé que les niveaux d'intensité estimés au moyen des relations prédictives pour des conditions de sol « moyennes » (cf. Figure 1 et Tableau 3) étaient assimilables à la zone 2 de la Figure 2. Le calcul des niveaux de dé-amplification/ amplification pour les zones 1 et 3 est réalisé par l'application de coefficients forfaitaires multiplicatifs en accélération de 0.85 et 1.15 respectivement. Afin de traduire ces coefficients forfaitaires en accélération en intensité, nous utilisons la relation de conversion Intensité/PGA mixte préconisée par Rey *et al.* (2008) à l'issue de leur analyse bibliographique (cf. Figure 3). Cette relation combine les corrélations proposées par Wald et al. (1999) et Atkinson et Sonley (2000). Cette relation est par ailleurs celle qui est recommandée par Sedan *et al.* (2008).

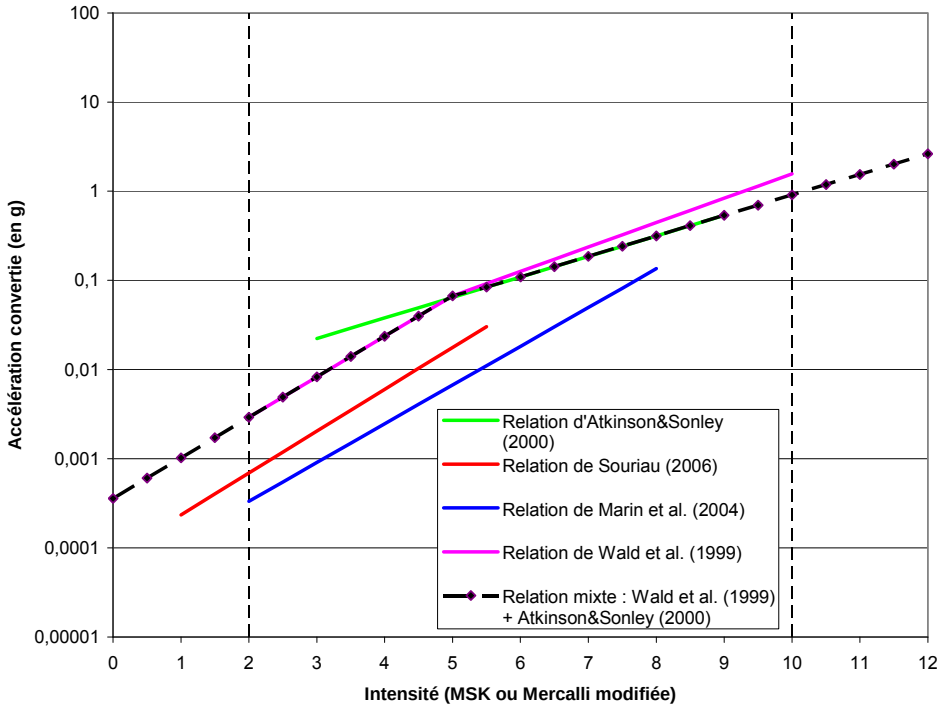


Figure 3 - Comparaison de plusieurs relations de conversion entre intensités et accélérations

Pour les niveaux d'intensité rencontrés dans le cadre du scénario du séisme de 1490 (ie. I≈VII-VIII), cela correspond à l'utilisation de la relation d'Atkinson et Sonley (2000) :

$$I = 2.2 \times \log_{10}(PGA) + 7.58$$

Dès lors, l'application d'un facteur multiplicatif *a* au PGA revient à majorer l'intensité de $2.2 \times \log_{10}(a)$. Dans notre cas, cela revient à minorer l'intensité de 0.16 pour la zone 1, et de la majorer de 0.13 pour la zone 3 (cf. Tableau 4 ci-dessous).

	Niveau "d'aléa"	
	Intensité	***PGA***
Zone 1	I_{BS06} - 0.16	$PGA_{réf}$ x 0.85
Zone 2	I_{BS06}	$PGA_{réf}$
Zone 3	I_{BS06} + 0.13	$PGA_{réf}$ x 1.15

Tableau 4 - Prise en compte forfaitaire des effets de site lithologiques, I_{BS06} étant l'intensité estimée à l'aide de la relation de Bakun et Scotti (2006)

Afin de caler ces résultats, nous avons confronté les valeurs d'intensité ainsi obtenues avec les données macrosismiques disponibles pour ce séisme en consultant les archives de la base de données des séismes historiques *SisFrance* (BRGM/EDF/IRSN). Comme souligné précédemment, le niveau d'intensité de VII-VIII observé au niveau du quartier historique de Clermont-Ferrand comme suite au séisme du 1er mars 1490 peut être confronté au résultat obtenu par le calcul au niveau de la cathédrale de 7.6 (majoration de 0.16 par rapport aux résultats obtenus à l'aide de la relation de Bakun et Scotti (2006). Compte-tenu de l'incertitude d'un demi-degré inhérent à la détermination de l'intensité macrosismique à partir de témoignages, nous pouvons considérer que l'approche retenue pour élaborer la carte d'aléa en intensité reproduit de manière très satisfaisante les observations.

4. Vulnérabilité

4.1. VULNERABILITE PHYSIQUE DES OUVRAGES

Le traitement de la vulnérabilité et des fonctions d'endommagement utilisé pour ces scénarios de risque est celui-ci des scénarios de risque de niveau 0 (Sedan *et al.*, 2008).

4.1.1. Les classes de vulnérabilité EMS98

L'échelle d'intensité EMS98 a été établie sur la base du retour d'expérience, en analysant de manière statistique le comportement de différents types de bâtiments ayant subi des séismes dans la période historique.

Le concept de vulnérabilité est fondamental pour la construction des échelles modernes d'intensité. La violence de la secousse déterminante pour la destruction d'une chaumière en briques de pisé mal construite n'est pas la même que celle qui entraîne la destruction d'un immeuble de bureaux massif. Ces distinctions de comportement doivent faire l'objet d'une différenciation.

L'EMS98 a introduit les notions de conception des structures, en distinguant le degré de conception parasismique (sans, moyen, bon) pour les structures en béton, et les systèmes de renforcement employés pour les structures en maçonnerie. La typologie des EMS98 est présentée dans la Figure 4, où, pour chaque type de construction est attribuée une classe de vulnérabilité la plus probable (avec son incertitude). Il s'agit donc d'un tableau à double entrée avec :

1) une typologie simplifiée des bâtiments. Les types de bâtiments sont classés en fonction de leurs groupes principaux : maçonnerie, béton armé, acier et bois.

2) une classification de niveau de vulnérabilité en six classes, de la plus vulnérable à la plus résistante.

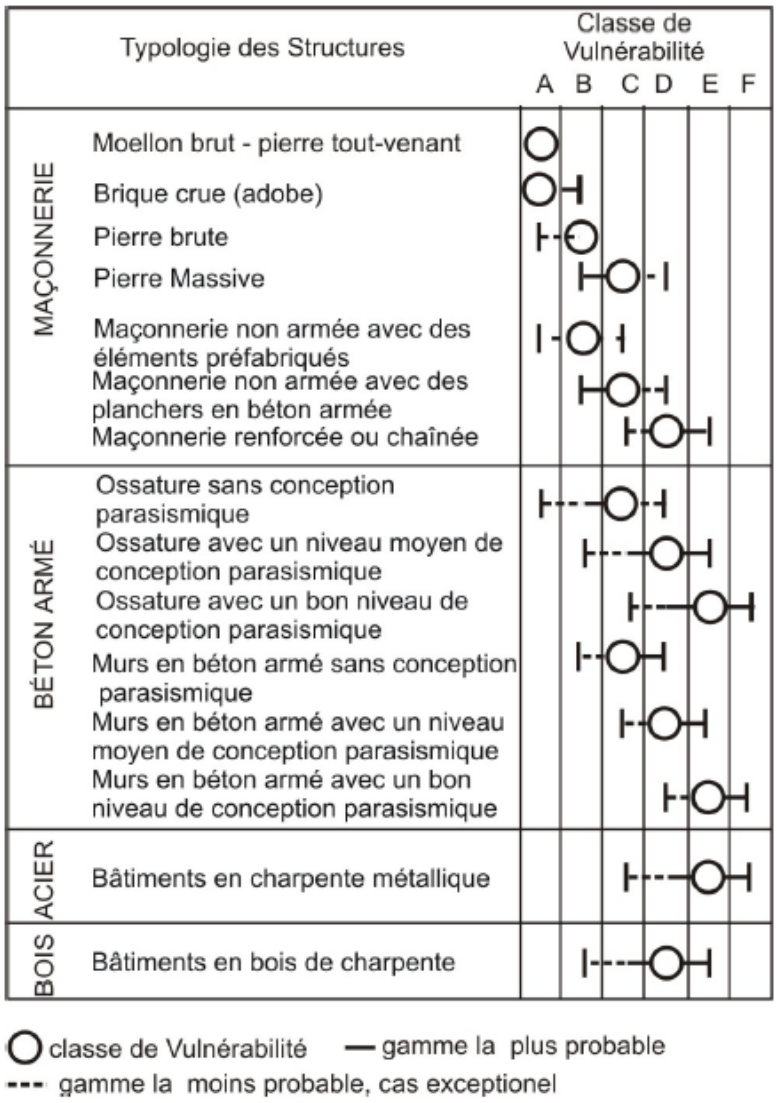


Figure 4 - Typologie des bâtiments et classes de vulnérabilité de l'échelle EMS98

Connaissant la classe de vulnérabilité (A à F) à laquelle se rapporte le type de bâti considéré, un indice de vulnérabilité V_i correspondant sera calculé à l'aide des fonctions d'appartenance proposées par la méthode Risk-UE de niveau 1. L'appartenance d'un bâtiment à une classe de vulnérabilité spécifique est définie par un indice de vulnérabilité. Les valeurs d'indice sont arbitraires car elles représentent seulement un score qui quantifie le comportement sismique d'un bâtiment. L'indice de vulnérabilité varie entre 0 et 1. Les valeurs proches de 1 représentent les bâtiments les plus vulnérables. Les valeurs proches de 0 caractérisent des bâtiments ayant un niveau de construction parasismique élevé.

Les fonctions d'appartenance des six classes de vulnérabilité EMS98 ont une valeur $\chi = 1$ (plausible) et une variation linéaire dans l'intervalle possible, définissant ainsi la transition entre deux classes adjacentes (cf. Figure 5).

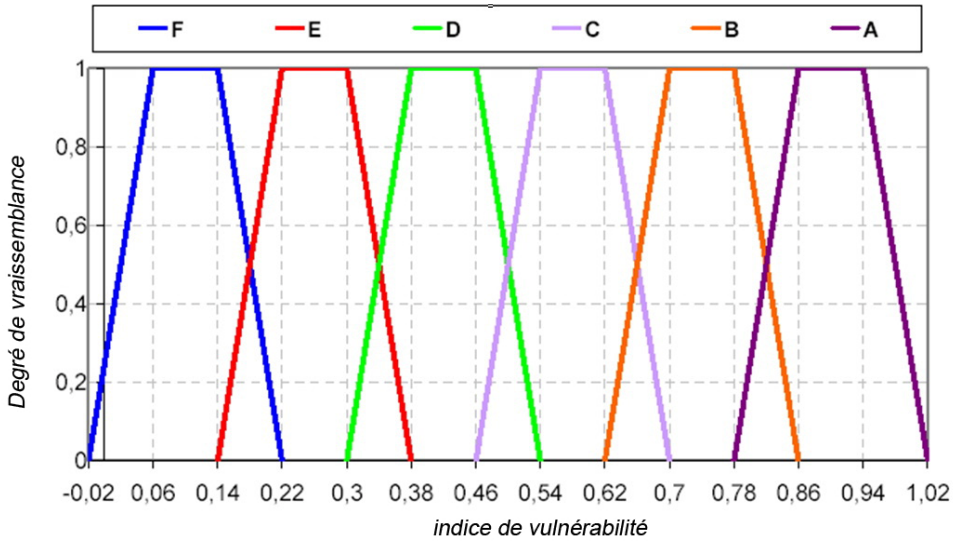


Figure 5 - Fonctions d'appartenance des différents indices de vulnérabilité

En parallèle, l'échelle EMS98 définie aussi 5 degrés de dommages aux constructions (Figure 6) :

- Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structuraux) ;
- Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structuraux légers, dégâts non structuraux modérés) ;
- Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structuraux modérés, dommages non structuraux importants) ;
- Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (dégâts structuraux importants, dégâts non structuraux très importants) ;
- Degré 5 (D5) : Destruction (dégâts structuraux très importants).

Il s'agit d'une échelle purement qualitative qui décrit la nature des dommages observables.

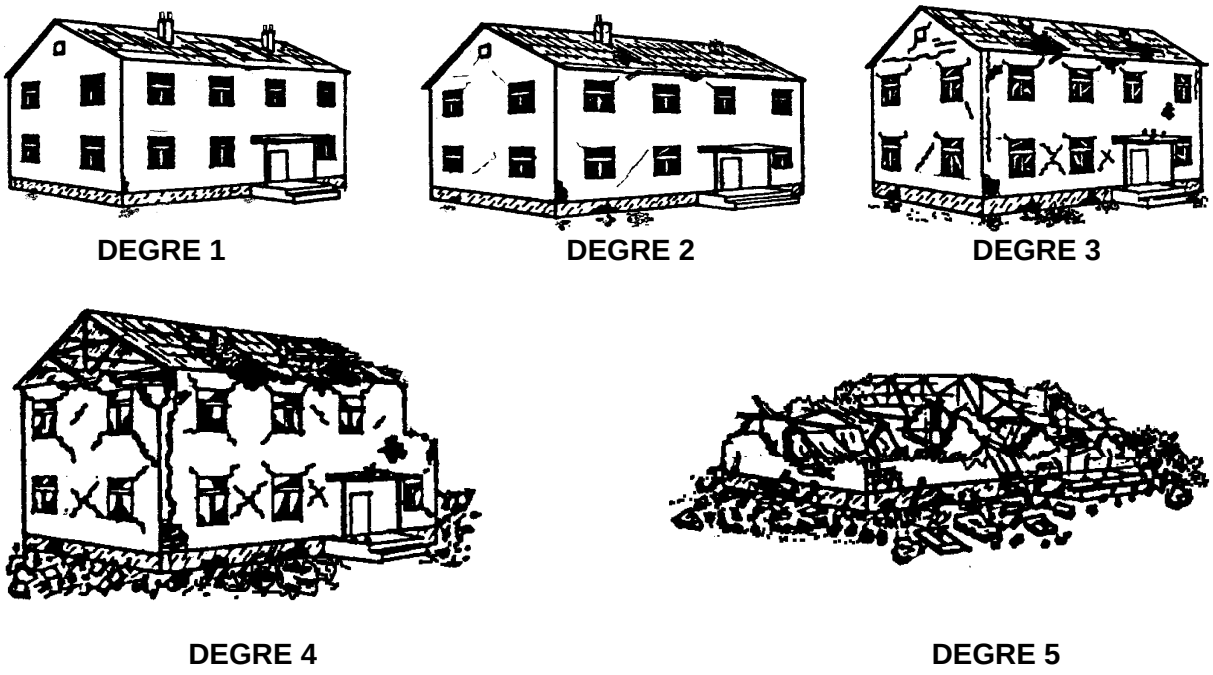


Figure 6 - Classification des dégâts selon l'Echelle Macrosismique Européenne

4.1.2. Fonctions de vulnérabilité

La méthode RISK-UE de niveau 1 définit des fonctions de vulnérabilité moyenne semi empiriques qui corrèlent le niveau de dommage moyen μ_D avec l'intensité macrosismique I et l'indice de vulnérabilité V_I. Ces fonctions sont définies pour les valeurs discrètes des matrices de probabilité de dommage (cf. Figure 16). μ_D est défini comme suit :

$$\mu_D = 2.5\left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6.25\,V_I - 13.1}{2.3}\right)\right]$$

Pour calculer une matrice de probabilité de dommage continue pour chaque classe de vulnérabilité selon la formule, une distribution bêta est utilisée :

$$\text{PDF: } p_\beta(x) = \frac{\Gamma(t)}{\Gamma(q)\Gamma(t-q)} \frac{(x-a)^{q-1}(b-x)^{t-q-1}}{(b-a)^{t-1}} \qquad a \le x < b$$

$$\text{CDF: } P_\beta(x) = \int_a^x p_\beta(\varepsilon)\,d\varepsilon$$

avec :

- a, b, t et q : paramètres de distribution ;
- x : variable continue variant entre a et b ;
- Γ : fonction gamma.

Les paramètres de la distribution bêta sont corrélés avec le niveau de dommage moyen μ_D comme suit :

$$q = t\left(0.007\mu_D^3 - 0.052\mu_D^2 + 0.2875\mu_D\right)$$

Le paramètre t affecte une dispersion à la distribution. Si t = 8 est utilisé, la distribution bêta est très similaire à une distribution binomiale. Afin d'utiliser la distribution bêta, il est nécessaire de se référer au niveau de dommage D (variable discrète) caractérisé par 5 niveaux de dommage plus le niveau de dommage zéro (i.e. absence de dommage). Il est conseillé d'assigner la valeur 0 au paramètre *a* et la valeur 6 au paramètre *b* (Lagomarsino *et al.* 2006).

4.2. VULNERABILITE DE LA COMMUNE DE CLERMONT-FERRAND

L'analyse de la vulnérabilité du bâti réalisé dans le cadre du pré-diagnostic de microzonage sismique sur la commune de Clermont-Ferrand (Rey *et al.*, 2009) est basée sur les données INSEE-IRIS recensant les informations obtenues lors du recensement 1999 pour l'habitat collectif. Dans la présente étude, les scénarios de risque intègrent ces informations concernant le logement collectif et utilisent des nouvelles données du recensement 2006 sur l'habitat individuel.

Les informations concernant le logement collectif (recensement 1999) ont permis de mettre en évidence en particulier leur âge, le nombre d'étages et le nombre de logements de ces habitations collectives. Il faut rappeler que le recensement INSEE 2006, concernant l'habitat collectif, présente moins d'informations sur ces caractéristiques des immeubles. Le recensement 2006 du logement individuel donne toutes les informations nécessaires de cet habitat, c'est-à-dire l'âge des constructions.

Cette analyse avait été complétée par une visite de terrain d'une journée et par l'analyse des photographies satellitaires de l'IGN© dans l'étude de Rey *et al.* (2009).

4.2.1. Vulnérabilité de la maison individuelle

Sur l'ensemble de quartiers de Clermont-Ferrand, l'habitat individuel est minoritaire, sauf dans les cités Michelin et les zones pavillonnaires de construction récente.

Le logement individuel clermontois construit avant les années 1950 peut se diviser en trois grands groupes :

- le logement individuel présent dans les centres historiques de Clermont et Montferrand. Il s'agit des bâtiments en maçonnerie en pierre de Volvic, avec un encadrement en pierres massives ou de taille des angles et des ouvertures. Ces bâtiments ont des nombreuses irrégularités (cheminées, lucarnes, différences de hauteur avec les bâtiments voisins, irrégularités en plan et en élévation) ;

- les pavillons bâtis dans les quartiers périphériques du centre historique de Clermont, souvent jointifs, construits aussi en maçonnerie de pierre Volvic ;

- le logement individuel des cités Michelin, avec une forme de bâtiment assez simple, de deux niveaux, en maçonnerie non renforcée. Ces cités ont été bâties principalement pendant les années 1930.

Bien que ces trois types de construction aient des différences apparentes, dans tous les cas il s'agit d'une maçonnerie non renforcée avec des planchers en bois (fragiles). Pour ces trois types de construction, une classe EMS-98 B a été considérée, correspondant à des bâtiments en maçonnerie de pierre brute. Il est possible qu'une partie des logements individuels soit plutôt en classe de vulnérabilité A (maçonnerie de pierre tout-venant) ou en classe C (maçonnerie de pierre de taille). Pour affiner cette répartition, des visites systématiques des quartiers concernés devraient être envisagées (méthode de niveau 1, selon Sedan et al., 2008).

Le logement individuel d'après-guerre se caractérise par l'incorporation d'éléments en béton et la prise en compte graduelle des différents codes constructifs et parasismiques. Pour le logement individuel, concernant cette période, deux classes de vulnérabilité EMS-98 ont été considérées :

- Classe C, maçonnerie non armée avec des planchers en béton armé ;

- Classe D, maçonnerie renforcée.

Différents exemples de ces constructions d'avant-guerre (Figure 7) et d'après-guerre (Figure 8) issus de la visite de terrain réalisée en 2008 sont donnés ci-dessous.

A)

B)

C)

Figure 7 - Exemples de maisons individuelles d'avant-guerre à Clermont-Ferrand. A) exemple d'une maison en maçonnerie de pierre de Volvic dans le centre historique de Montferrand. B) maison individuelle dans un quartier periphérique du centre historique de Clermont bâti entre la fin du XIX siècle et les années 1950 et C) pavillon d'une cité Michelin

A)

B)

C)

Figure 8 - Exemples de maison individuelle d'après-guerre. A) maison bâtie dans les années 1950-60 ; B) maison des années 1970-1980 et C) lotissement de construction récente

4.2.2. Typologie de l'habitat collectif

Concernant le bâti collectif, les données IRIS de l'INSEE permettent d'identifier à l'échelle de la ville une grande période de construction allant de 1915 à 1975, pendant laquelle 60 % des immeubles collectifs clermontois ont été construits. Initiée dans les quartiers voisins du centre-ville historique, elle s'est étendue aux quartiers périphériques (ilots 0601 à 1601, 1702 à 1903 et 2301 à 2501) avec un maximum pendant la période d'après-guerre allant de 1949 à 1967 marquée notamment par la construction de près de 50 % des HLM de la ville (construction de nombreuses tours et de barres d'immeubles en éléments préfabriqués – ex. ilot 2301). Cette période prend fin au milieu des années 1970, alors que le pic démographique historique de Clermont-Ferrand est atteint en 1975. Nombre des immeubles construits pendant cette période sont de petits immeubles collectifs ouvriers.

D'un point de vue plus général, l'essentiel du bâti collectif de Clermont-Ferrand qui concentre une grande majorité des logements de la commune a été construit avant 1974 (dont une part importante avant 1915). L'entrée en vigueur des premiers codes de construction parasismique en France datant de 1971, seule une petite proportion des immeubles d'habitat clermontois ont donc pu bénéficier de mesures de construction parasismiques, ce qui amène donc à considérer la ville de Clermont-Ferrand comme globalement assez vulnérable aux séismes. Cependant, près de 40 % des immeubles présents sur la commune ont été construits après 1949, ce qui implique une meilleure résistance structurelle de ces bâtiments (le développement de matériaux plus résistants et de techniques nouvelles de construction a commencé dans les années 50) et donc une plus faible vulnérabilité face aux séismes.

Les classes de vulnérabilité EMS-98 considérées pour l'habitat collectif sont :

- Classe B pour l'habitat collectif construit en maçonnerie de pierre de Volvic, essentiellement construit avant 1950,
- Classe C pour l'habitat collectif en béton bâti avant l'apparition des premiers codes parasismiques (début années 1970),
- Classe D pour l'habitat collectif bâti entre 1974 et 1989 (niveau de code parasismique moyen),
- Classe E pour les immeubles construits après 1990 (normes PS92).

Des exemples de bâtiments d'habitat collectif sont donnés sur les trois figures suivantes. Ces photos proviennent également de la visite de terrain réalisée en 2008.

Figure 9 - Exemple d'une rue du centre historique de Clermont-Ferrand avec des immeubles de logement collectif (construits avant 1915) en maçonnerie de pierre de Volvic.

On observe des façades principales entièrement en pierre de taille.

Figure 10 - Grand immeuble HLM construit avant 1974 en éléments préfabriqués (îlot 2301)

Figure 11 - Habitat collectif de construction récente (murs en béton préfabriqués)

4.2.3. Répartition sur l'ensemble de la ville

A partir de l'analyse des données INSEE sur la commune de Clermont-Ferrand, on affiche la répartition des classes de vulnérabilité EMS98 sur l'ensemble de la commune. Le nombre de bâtiments par classe de vulnérabilité et quartier est disponible en annexe.

La classe B (plus vulnérable) est largement majoritaire (plus de 80 % des bâtiments) sur les îlots du centre historique de Clermont (îlots 401 et 402). Sur les îlots construits avant-guerre (îlots 403, 301, 202, 501, 101, 701 et 2101), elle couvre entre 60 et 80 % du parc immobilier.

La classe de vulnérabilité C est majoritaire dans les quartiers construits après-guerre et jusqu'au début des années 1970. L'îlot 2201 est constitué de plus de 80 % de bâtiments de cette classe et les îlots 1801, 1802, 1803, 602, 2301, 2202, 2002, 2201, 1101, 1403, 2001, 2003, 1901 et 2501 ont entre 60 et 80 % de bâtiments de cette classe C. En revanche, cette classe est minoritaire dans le centre historique de Clermont et de Montferrand, ainsi que dans les quartiers périphériques du centre historique de Clermont.

Les classes le moins vulnérables (D et E) se trouvent au niveau des nouveaux quartiers de l'extrême nord de la commune (îlots 2001, 2003 et 1901) ainsi qu'à la Pardieu (îlot 2501).

Les répartitions de ces classes de vulnérabilité est précisée pour chaque îlot INSEE sur les 3 figures suivantes :

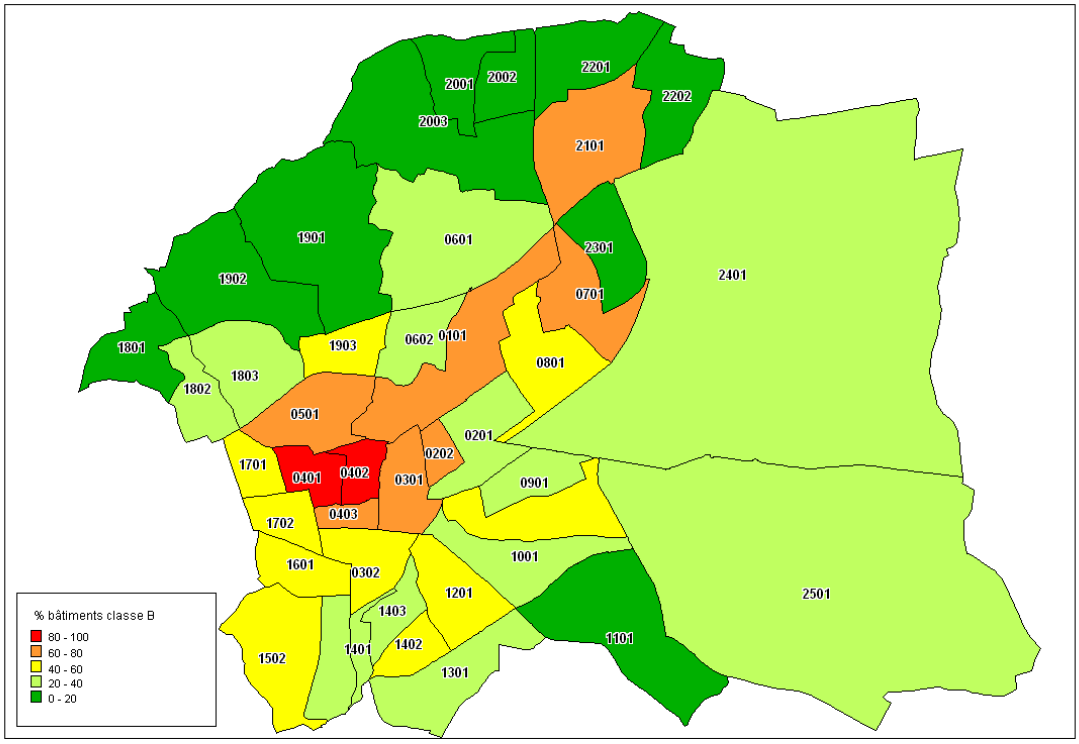


Figure 12 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité B par îlots IRIS

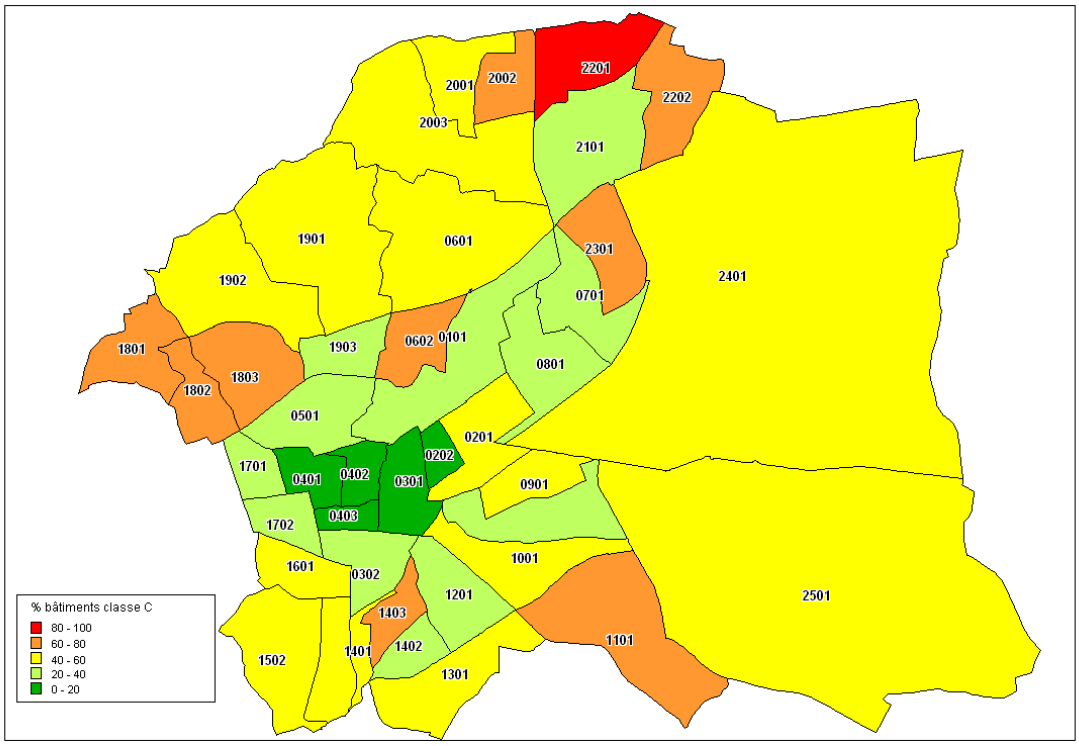


Figure 13 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité C par îlots IRIS

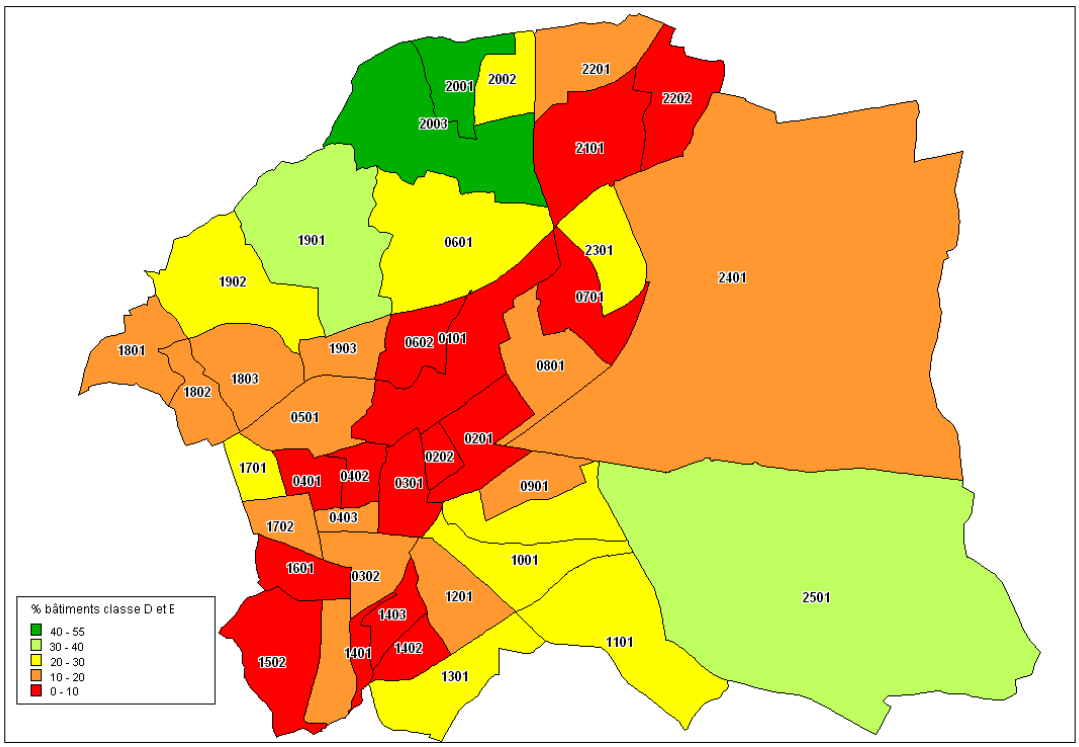


Figure 14 - Répartition des bâtiments de classe de vulnérabilité D et E par îlots IRIS

4.3. NIVEAU DE PRECISION DES SIMULATIONS REALISEES DANS LE CADRE DE CETTE ETUDE

Un scénario de dommages peut être réalisé de façon plus ou moins fine. Sedan *et al.* (2008) précisent ce qui relève d'un scénario de niveau 0, 1 ou 2. Dans le cadre de la présente étude, l'estimation du mouvement sismique de référence, qui prend en compte l'aléa régional mais aussi local, peut être assimilé aux données d'entrée d'un scénario de niveau 1. L'analyse de la vulnérabilité se situerait plutôt entre un scénario de niveau 0 (utilisation uniquement de données statistiques et les îlots IRIS constituent l'unité cartographique de base) et de niveau 1 (détermination sur le terrain de zones de typologies homogènes, à l'échelle de quartiers, qui constituent l'unité cartographique de base). Cette analyse a en effet principalement bénéficié de l'utilisation des statistiques et a été réalisée à l'échelle des îlots IRIS, mais elle a été par ailleurs accompagnée d'une visite de terrain qui a servi à établir une typologie du bâti local (voir § 4.2).

Etant donné que la présente étude est réalisée dans le but de valoriser des données obtenues lors d'une autre étude et à des fins de communication, les scénarios réalisés et les résultats obtenus ne devront pas explicitement être identifiés comme étant strictement de niveaux 0 ou 1. Il faut bien garder en mémoire que ce type d'analyse présente des incertitudes importantes et que **les résultats obtenus doivent être considérés d'une façon globale**. Ainsi, les résultats pour chaque îlot et pour chaque degré de dommages (D0 à D5 au sens de l'EMS98) ne seront pas présentés. La restitution sera réalisée à l'échelle de la commune et uniquement selon deux classes de dommages : d'une part les « bâtiments fortement endommagés ou détruits », ce qui correspond globalement aux degrés D4 et D5 au sens de l'EMS98, et d'autre part les « bâtiments moyennement endommagés ». Cette seconde catégorie correspond plus ou moins aux degrés de dommages D2 et D3.

5. Scénario actuel : estimation de l'impact du séisme de 1490 sur le bâti courant de Clermont-Ferrand en 2010

5.1. SCENARIO REALISE ET RESULTATS

Un séisme d'intensité VII-VIII se caractérise par :

- **intensité VII : dommages prononcés,** larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chutes de cheminées,

- **intensité VIII : dégâts massifs,** les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants.

Des dégâts très généralisés sont donc attendus mais avec un endommagement très fort (effondrement, destruction) uniquement pour les bâtiments les plus vulnérables.

Sur la base des éléments présentés dans les parties précédentes, un scénario a été réalisé avec le logiciel Armagedom©. Ce scénario intègre ainsi une estimation de l'aléa sismique tel que présenté en § 3, ainsi qu'une évaluation de la vulnérabilité du bâti individuel et collectif, tel que présenté dans le § 4.

D'après ce scénario, les plus forts dégâts seraient attendus au niveau des quartiers avec des ratios très importants de constructions d'avant-guerre et situés sur des zones à possible effet de site (îlot 202 Charras, îlot 401 Jaude, îlot 402 Le Port et îlot 403 Ballainvilliers). En revanche, dans des secteurs avec des caractéristiques constructives similaires mais situés sur des zones où il n'a pas été estimé un effet de site, l'endommagement global serait moindre. Les quartiers les moins impactés seraient les îlots du Nord-Ouest et Sud-Est de la commune, où on note la coïncidence d'une construction assez récente des bâtiments et d'un effet de site en général plus faible que sur les quartiers du centre-ville.

De manière générale, les dégâts faibles (D0 à D1 selon l'EMS98) seraient clairement majoritaires sur l'ensemble de la commune de Clermont-Ferrand (environ 77 %). Les dégâts moyens ou modérés (fissures, lézardes, soit D2 à D3 selon l'EMS98) concerneraient environ 22 % de la commune. Les dégâts très forts (destruction partielle, effondrements, soit D4 à D5 selon l'EMS98) n'atteindraient globalement pas 1 % des bâtiments.

En termes absolus, un séisme tel que celui de 1490 provoquerait ainsi l'endommagement très fort ou la destruction de quelques dizaines de bâtiments. Ces habitations fortement endommagées ou détruites se concentreraient surtout dans les quartiers avec une forte concentration de bâtiments vulnérables, c'est-à-dire, les quartiers comportant un grand nombre d'immeubles bâtis avant les années 1950. De

plus, des centaines de bâtiments pourraient présenter des dommages faibles ou modérés (fissures, lézardes, chute de cheminées).

En conclusion, ce scénario issu d'un pré-diagnostic de microzonage sismique met en évidence la coïncidence géographique des couches géologiques à possible effet de site et les quartiers avec une concentration importante de bâtiments vulnérables.

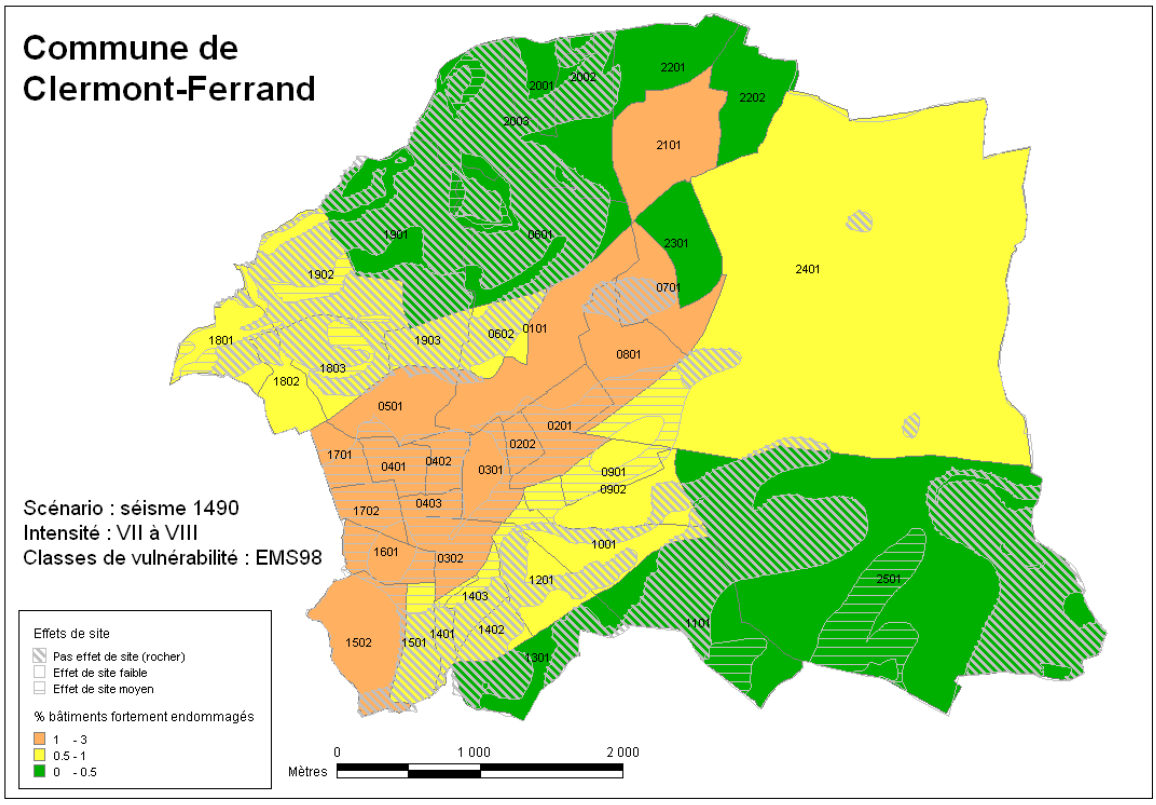


Figure 15 - Pourcentages de bâtiments fortement endommagés ou détruits par îlots IRIS

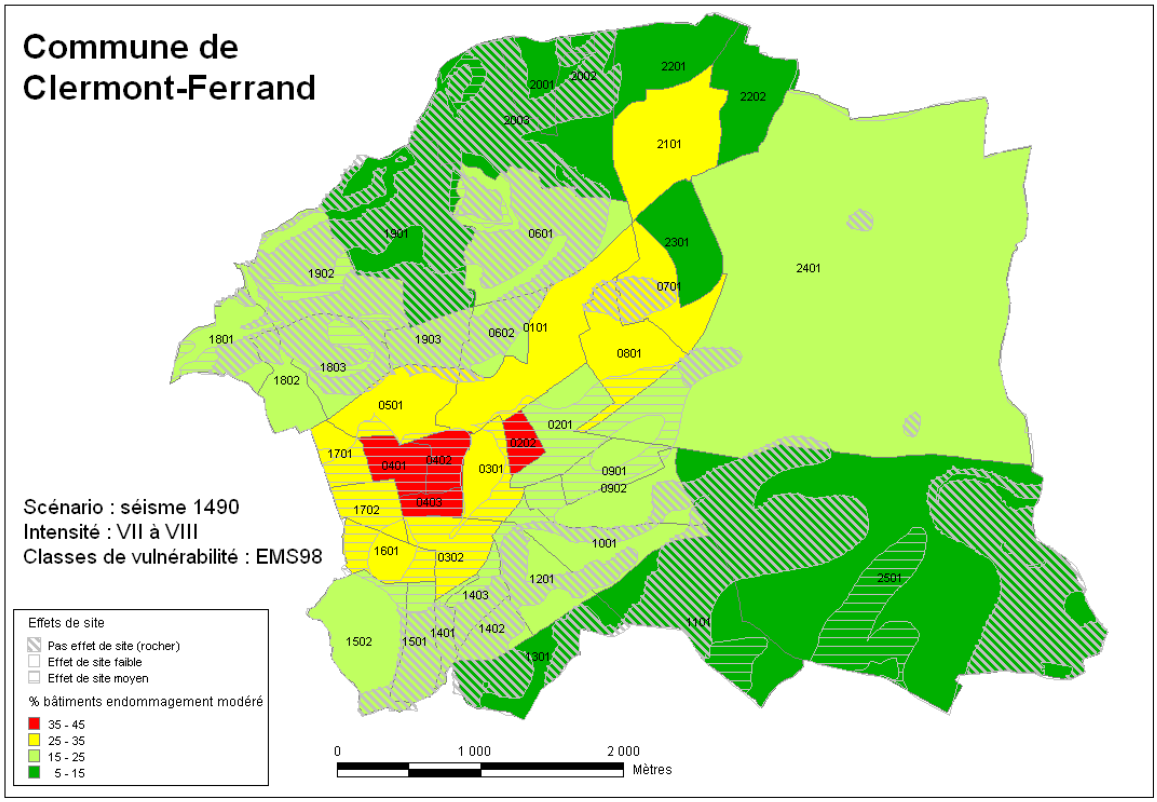


Figure 16 - Pourcentages de bâtiments moyennement endommagés par îlots IRIS

5.2. ETUDES COMPLEMENTAIRES

Afin de mieux comprendre les résultats obtenus, des études complémentaires ont été réalisées.

5.2.1. Représentation des résultats sous forme de grille

Le premier complément consiste à représenter les résultats non pas selon les îlots IRIS mais selon une grille de points de pas constant. Ceci permet de ne plus lisser les résultats à l'échelle d'un îlot IRIS, qui peut être parfois relativement étendu, mais sur des surfaces plus restreintes, par exemple des carrés de 500 m de côté. Ceci permet de mieux représenter les dommages générés par les effets de site lithologiques. En effet, si des effets de site couvrent une partie seulement d'un îlot IRIS, le résultat final obtenu pour l'îlot sera mécaniquement lissé par les zones où les effets de site ne sont pas présents (ou sont moins forts). L'îlot 2501 par exemple, à l'Est de la commune, est très étendu et des zones à effets de site modérés, à effets de site faibles et sans effets de site sont notées simultanément dans cet îlot. Le résultat de la simulation pour cet îlot sera ainsi un mélange des résultats obtenus pour les différents types de sol (la vulnérabilité est en effet supposée constante à l'échelle d'un îlot). Sur les figures ci-

dessous, les pourcentages de bâtiments fortement endommagés ou détruits (Figure 17) et moyennement endommagés (Figure 18), obtenus avec une maille de 500 m, sont représentés.

On identifie plus nettement sur ces figures les zones où des effets de site modérés ont été introduits dans le scénario, au niveau du centre-ville historique et au Nord de la commune.

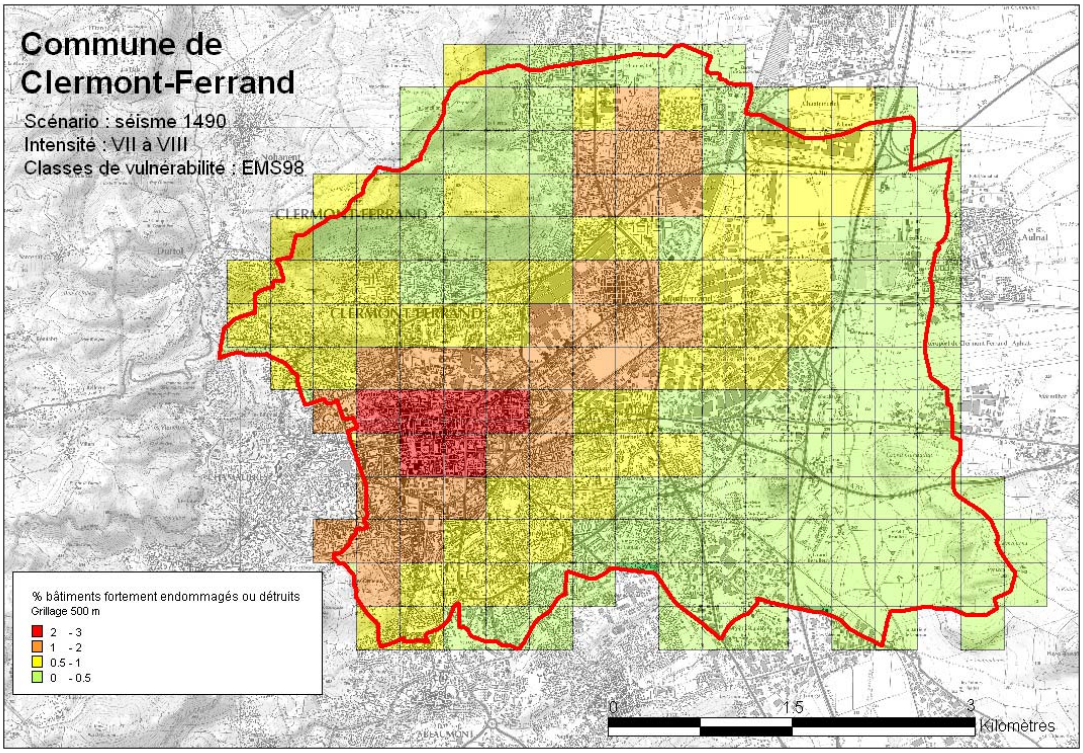


Figure 17 - Pourcentages de bâtiments fortement endommagés ou détruits selon une grille de 500 m de côté

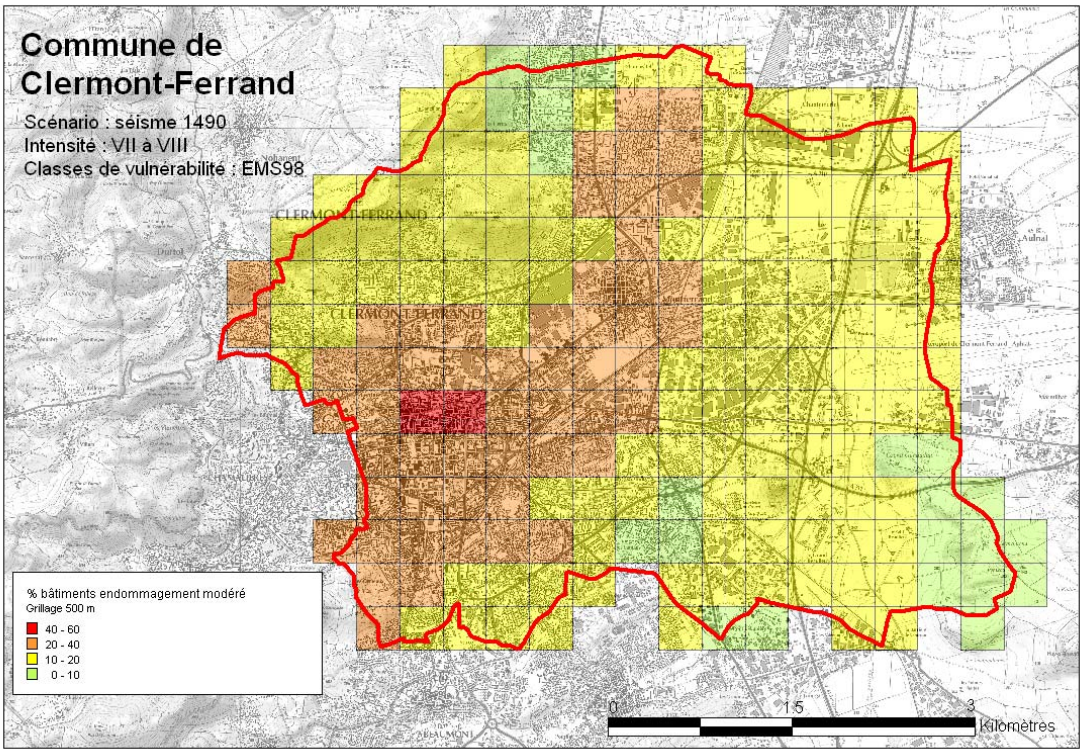


Figure 18 - Pourcentages de bâtiments moyennement endommagés selon une grille de 500 m de côté

5.2.2. Estimation de l'influence respective de la vulnérabilité et des effets de site dans les résultats obtenus

La seconde étude complémentaire consiste à essayer de discriminer ce qui relève, dans les résultats obtenus, de la vulnérabilité des structures d'une part et des effets de site d'autre part. En effet, des dommages importants peuvent être le résultat d'une vulnérabilité importante et/ou d'un mouvement sismique important, dû à des effets de site. Dans cette optique, des cartes du poids de l'aléa local et de la vulnérabilité ont été réalisées.

Afin de mettre en évidence l'importance par secteurs des effets de site ou de la vulnérabilité, des cartes de poids de l'aléa local et de la vulnérabilité sont présentées. Ces cartes sont construites à partir d'un scénario qui prend une accélération au rocher constante et homogène sur toute la commune de Clermont-Ferrand. Dans ce cas, une accélération de 1,6 m²/s a été considérée. Cette accélération correspond à la valeur haute des accélérations estimées pour la zone d'aléa modéré et correspond au niveau d'accélération attendu à Clermont-Ferrand pour une période de retour de 475 ans (voir Rey et al., 2008).

La carte du poids de l'aléa local nécessite deux simulations. La première est une simulation dite « standard », réalisée en prenant en compte, au-delà des accélérations

qui correspondent à l'aléa régional, l'ensemble des phénomènes participant à l'aléa local, à savoir les effets de site lithologiques. La seconde simulation est réalisée en ne prenant en compte que l'accélération au rocher et la vulnérabilité (Sedan et al. 2008).

Le rapport entre le pourcentage de bâtiments en état d'endommagement très fort avec et sans prise en compte de l'aléa local est ensuite calculé pour chaque pas de la grille. La carte du poids de l'aléa local présente la classification des zones en fonction de ce rapport. Plus celui-ci est élevé, plus la contribution absolue de l'aléa local est importante au niveau du résultat du scénario.

On observe très clairement que la zone du centre historique de Clermont présente le poids d'aléa local le plus fort (zones en rouge sur la Figure 19). Un quartier au Sud-Est, le Grand Beaulieu, présente aussi un ratio fort de l'aléa local. Sur une grande partie des quartiers excentrés de la commune, le poids de l'aléa local est faible (carrés représentés en jaune et en vert clair).

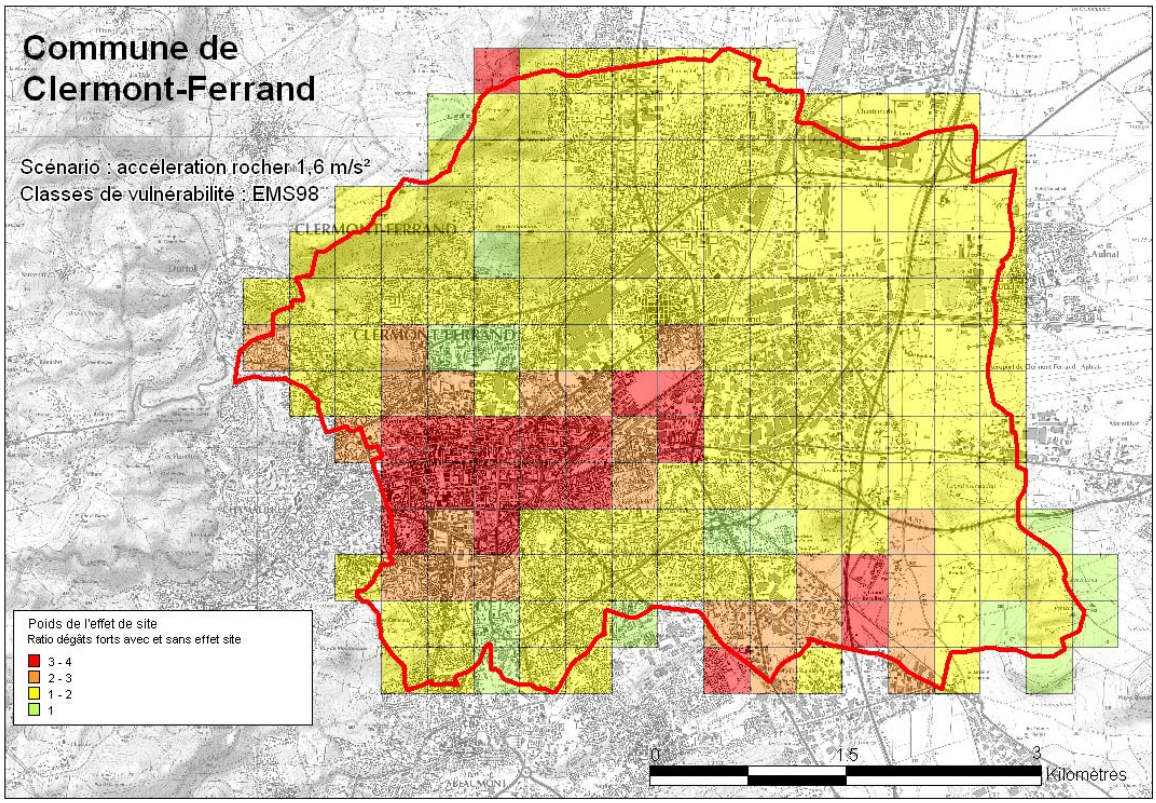


Figure 19 - Carte du poids de l'aléa local

La carte du poids de la vulnérabilité est construite globalement sur le même principe que la précédente, c'est-à-dire en faisant le rapport des résultats de deux simulations. La première est la même que celle utilisée pour la carte du poids de l'aléa local, à savoir la simulation « standard » (avec vulnérabilité, aléa régional et aléa local ; Sedan et al. 2008). La seconde correspond à la simulation d'une situation fictive, pour laquelle l'ensemble du bâti de la zone d'étude se voit affecté d'une courbe de vulnérabilité

arbitraire, constante sur l'ensemble de la zone. Cette vulnérabilité constante (appelée *moyenne équivalente*) est celle qui, appliquée de manière homogène sur l'ensemble des zones, donne le même résultat en termes de dommages très forts (soit D4-D5 selon l'EMS98) que la simulation « standard ».

Les rapports entre simulation standard et simulation avec la vulnérabilité « moyenne équivalente » peuvent être :

- supérieurs à 1 : la vulnérabilité globale de la zone est supérieure à la « moyenne équivalente »,
- inférieurs à 1: la zone est moins vulnérable que la « moyenne ».

La carte du poids de la vulnérabilité (Figure 20) permet d'identifier les quartiers présentant une vulnérabilité plus forte que la moyenne (zones en rouge et en orange), qui coïncident avec les quartiers bâtis en grande partie avant les années 1950 (centres historiques de Clermont et de Montferrand, cité Michelin). En revanche, le ratio est inférieur à 1 sur toute la partie sud-est de la commune et sur les quartiers du Nord-Ouest, qui sont toutes les deux des zones avec un taux de bâti récent plus important.

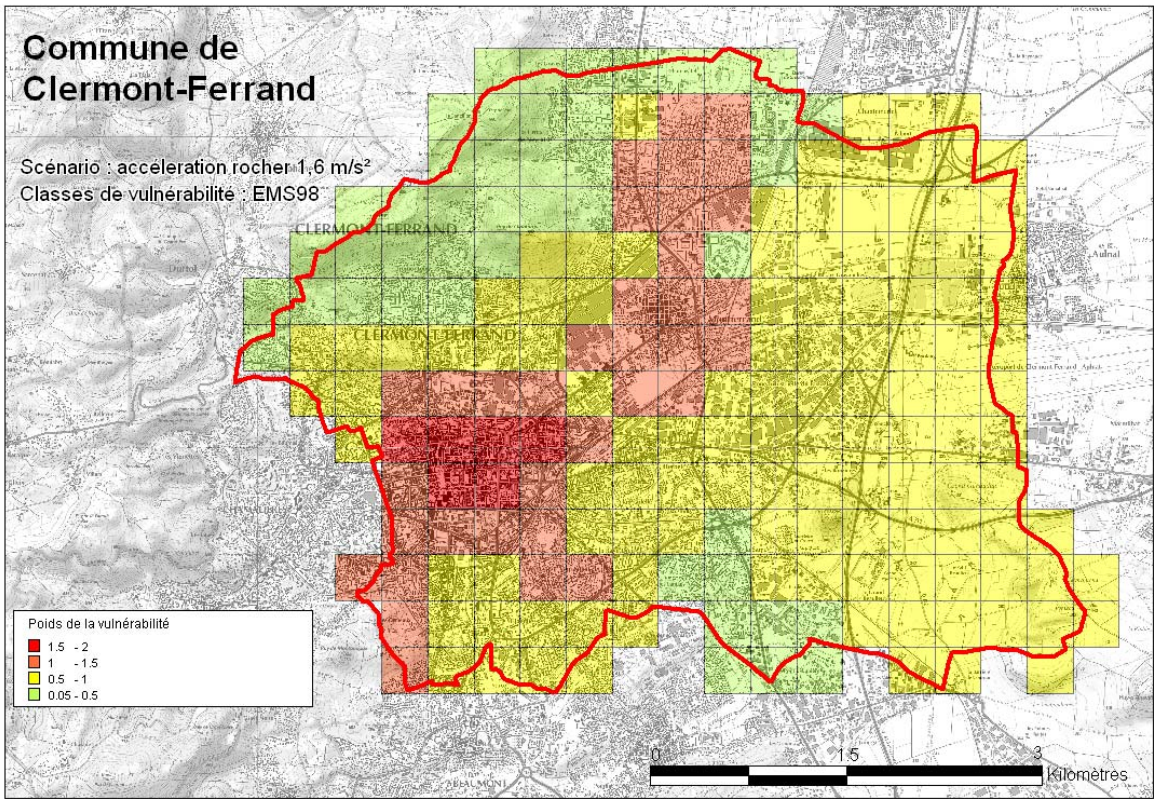


Figure 20 - Carte du poids de la vulnérabilité

6. Scénario historique : estimation de l'impact du séisme de 1490 sur le bâti de l'époque

6.1. CLERMONT-FERRAND ET LE TREMBLEMENT DE TERRE AUVERGNAT DU 1ER MARS 1490

Associée à un coefficient de sismicité plutôt faible à l'échelle française, l'Auvergne n'est cependant pas exempte de tremblements de terre. Son histoire sismique démontre que diverses secousses se manifestèrent au cours des temps mais que les deux plus violentes furent incontestablement celles du 29 juin 1477 et du 1er mars 1490[1].

A l'occasion de cette dernière, Clermont et ses environs furent notablement affectés, comme nous le prouvent un certain nombre d'archives authentiques faisant état de dommages et de réparations.

A la fin du XVème siècle, la ville de Clermont-Ferrand n'est évidemment pas la commune que nous connaissons aujourd'hui. Avant leur fusion, qui n'interviendra qu'après deux édits (1630 et 1731), Clermont et Montferrand s'opposent. La première est une cité épiscopale d'origine antique[2] alors que la seconde, située à quelque distance, est née de l'édification au XIIème siècle du château du même nom par les comtes d'Auvergne.

Les cartes ci-dessous illustrent la situation géographique des deux cités de Clermont et de Montferrand au début du XVIIIème siècle (Figure 21 et Figure 22).

[1] 1er mars 1489 vieux style.

[2] Désignée « Augusto Nemetum » sous la conquête romaine.

Figure 21 - La ville de Clermont et le château de Montferrand en 1739 (extrait de la « Carte de la ville et des environs de Clairmont-Ferrand » par Lescuyer de la Jonchère, collection, Bibliothèque Nationale de France)

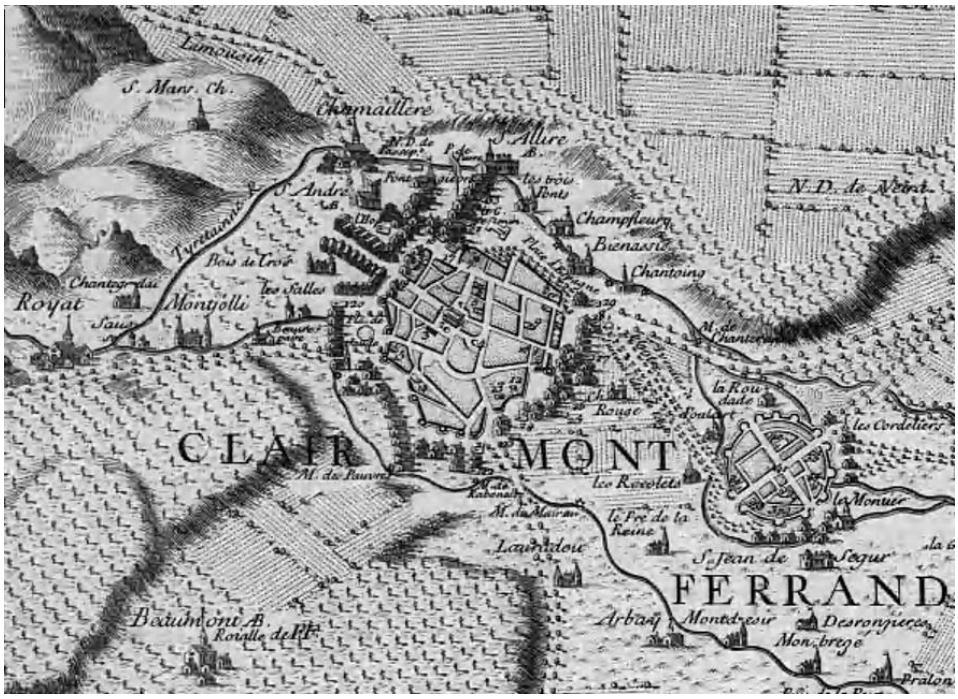


Figure 22 - La ville de Clermont-Ferrand en 1739 (extrait de la « Carte de la ville et des environs de Clairmont-Ferrand » par Lescuyer de la Jonchère, collection, Bibliothèque Nationale de France)

6.1.1. Aperçu de la ville de Clermont à la fin XV^{ème} siècle

En quoi consistait Clermont à la fin du Moyen Age ? D'après Rouchon[3], Clermont se composait de « trois villes : celle du sommet où se trouvaient la cathédrale, les bâtiments capitulaires, ceux de l'évêché, etc., entourés d'une enceinte particulière fermée de cinq portes dont le chapitre de la cathédrale avait la garde ; cet espace est aussi appelé « le Cloitre ou la Cité de Clermont ou encore le Plateau Central[4] » ; la ville proprement dite, tassée sur les pentes du monticule et ceinte de remparts ; enfin les faubourgs où s'élevaient plusieurs églises, les importantes abbayes de Saint-Alyre, de Saint-André, le couvent des Jacobins, etc. »

Un dessin de Louis Boudan conservé à la Bibliothèque nationale (Figure 23) représente ce que pouvait être la ville de Clermont vers 1460, soit trente ans avant que ne survienne le séisme de 1490.

En 1574, un second dessin dû au Clermontois François Fuzier, et publié par Belleforest[5], rend compte de la configuration de la cité (Figure 24). La légende a l'avantage d'y situer la toponymie, faisant apparaître un certain nombre de noms encore actuels.

[3] Rouchon. U (1897) : Clermont-Ferrand. Son origine, ses monuments. Congrès archéologique de France. Séances tenues à Clermont-Ferrand en 1896.

[4] Laporte. Ad (1897) : Sur l'essai de reconstitution du plan de Clermont. Congrès archéologique de France.

[5] Belle-Forest (François de) (1575) : Cosmographie universelle, Paris.

Figure 23 - « Veue de la ville, comté et evesché de Clermont en Auvergne » en 1460 par Louis Boudan (collection Bibliothèque Nationale de France)

Au premier plan, les faubourgs sud de la ville constitués de diverses abbayes, puis la cité proprement dite fermée par ses remparts (tours et portes). Au centre, la cathédrale et à sa gauche l'église de Notre-Dame du Port.

Dans ses travaux sur l'essai de reconstitution du plan de Clermont au Moyen Age, Ad. Laporte (cf. note 4) dénombre 13 portes constituant l'enceinte fortifiée. Au XVIII^{ème} siècle, ces fortifications qui n'étaient plus entretenues depuis longtemps seront abattues et cet ensemble disparaitra. Suivant P. Laporte[6], les remparts occupaient sensiblement le tracé suivant : avenue des États-Unis, place Gaillard, rue Saint-Hérem, place de la Poterne, rue Claussmann, place d'Espagne, place Delille, boulevard

[6] Laporte. P : Histoire de Clermont-Ferrand : http://www.clermont-ferrand.fr

Trudaine, place Michel de l'Hospital, rue Maréchal Joffre, rue Ballainvilliers, boulevard Léon Malfreyt, rue Georges Clémenceau, boulevard Desaix, place de Jaude.

Figure 24 - « La ville et cité de Clermont en Auvergne » en 1574 d'après un dessin du Clermontois François Fuzier (1574)

Au centre et au premier plan de l'enceinte, la porte de la Boucherie, suivie sur la droite par la porte Saint-Pierre et plus loin encore la porte des Gras qui seront endommagées par le séisme de 1490.

Selon Ph. Arbos[7], le tracé de la grande enceinte qui défendait la cité fut fixé durant la guerre de Cent Ans. Mais la population clermontoise subissant les vicissitudes de la guerre à laquelle s'ajouta une épidémie de peste diminuant ses effectifs, ne fut bientôt plus en état de fortifier et d'assurer la garde du « grand pourpris ». En 1411, les habitants furent autorisés par Charles VI « *à restreindre l'ancienne clôture et murer de nouvelles murailles, de tours et de fossés la nouvelle cité.* » Selon F. Mège[8], c'est à

[7] Arbos. Ph (1929) : Clermont-Ferrand. L'organisme urbain. Revue de géographie alpine, 1929

[8] Mège. F. (1869) : Documents inédits pour l'histoire d'Auvergne. Les murs et fortifications de Clermont-Ferrand au début du 18è siècle. Mémoire de l'Académie de Clermont-Ferrand.

cette date que les fortifications et murailles de la ville furent presqu'entièrement reconstruites et qu'on y pratiqua 12 portes. « Toutes les murailles de Clermont, ajoute-t-il, étaient fortifiées de distance en distance par des tours et autres ouvrages. Des fossés plus ou moins larges bordés de chemins couverts en défendaient les approches. Au-devant des portes principales se trouvaient des ponts levis et des corps de gardes. » Ainsi se présentait Clermont qui, selon Savaron[9], était une « *ville de guerre forte d'assiette, remparée de tours et de murailles* » (Figure 25).

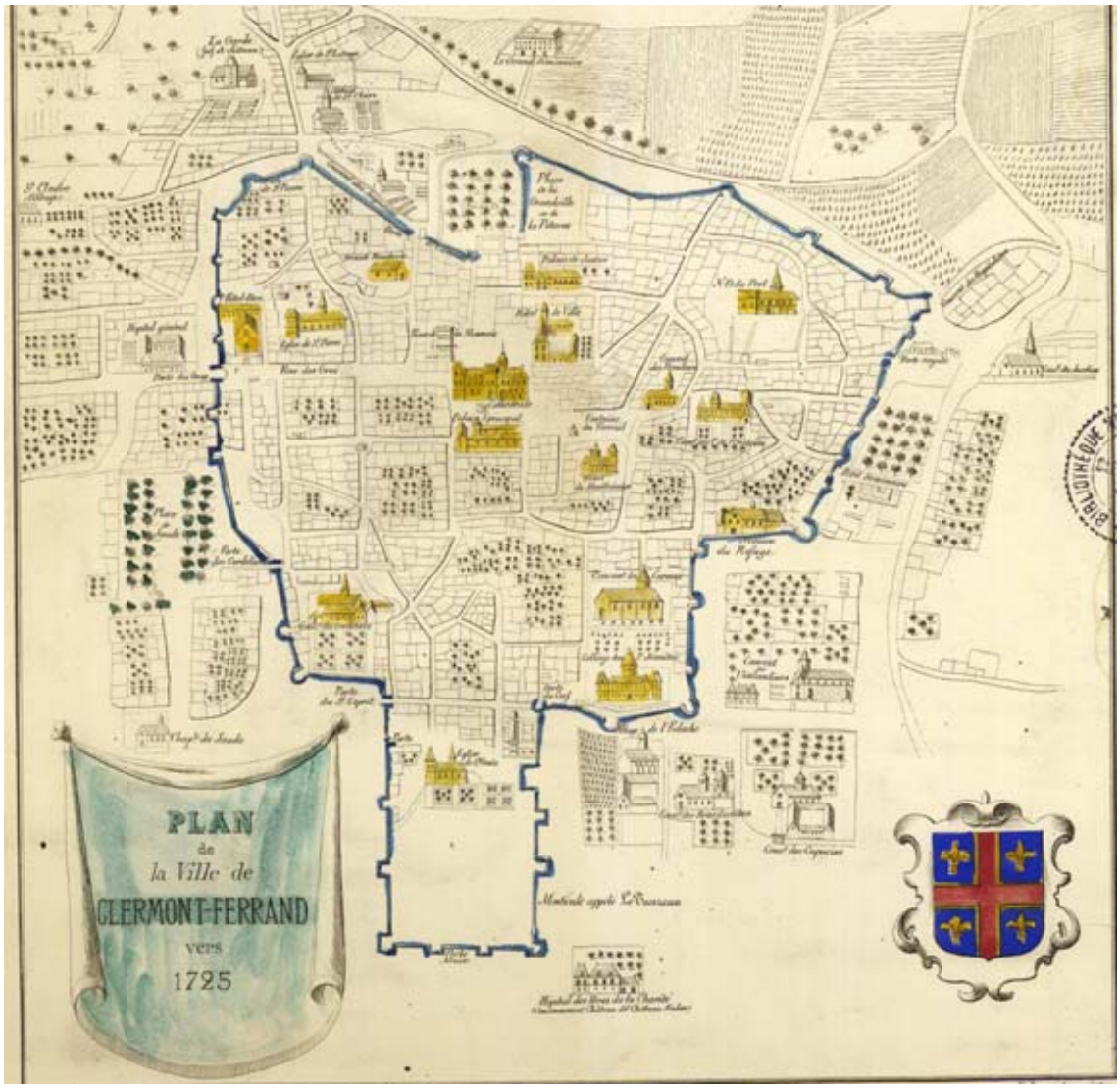


Figure 25 - Plan de Clermont-Ferrand vers 1725 : les édifices remarquables et le tracé des fortifications (collection bibliothèque communautaitre et interuniversitaire de Clermont-Ferrand)

[9] Savaron (1662) : Les origines de la ville de Clairmont, Paris.

6.1.2. Estimation de la population des villes de Clermont en 1490

A-t-on une idée de la population clermontoise à la fin du XV^{ème} siècle ?

Il n'est pas aisé de se prononcer sur une telle question. Selon Messance[10], pour la période 1690-1699, la population de Clermont pouvait être évaluée à un peu plus de 17 000 âmes. Mais qu'en était-il deux cents ans auparavant ?

Nous savons que la grande peste de 1348, dite « Peste Noire » ou peste bubonique, affecta l'Auvergne. Des crises postérieures à répétition s'en suivirent auxquelles Clermont ne put échapper. Sans rechercher une documentation complète sur ce sujet, quelques documents en témoignent.

« Le 11 mai 1370, en vertu de lettres patentes de Charles V, le nombre de feux de la ville de Clermont, qui avait été précédemment de 472, ne fut trouvé que de 267, sans y comprendre les pauvres et misérables personnes *pain quérants* ni le clergé et la noblesse. » nous informe le Dr. Peghoux[11] dans ses travaux sur les épidémies en Auvergne.

En 1430, une lettre du roi Charles VII accorde à Clermont une réduction de 300 livres sur l'aide levée en Basse-Auvergne en raison de la grande mortalité et du dépeuplement de la ville comme en témoigne cette lettre royale :

« Charles, par la grâce de Dieu roi de France, à notre aimé et féal (fidèle) maître Régnier de Boullegny, général conseiller sur le fait et gouvernement de toutes nos finances, salut et dilection. Nous vous faisons savoir qu'à la requête de notre aimé et féal conseiller l'évêque de Clermont, et aussi en considération de la grande et excessive mortalité qui, depuis naguères, a été bien longuement et est encore en sa ville de Clermont, dont elle est très dépeuplée par la mort et absence de plusieurs des habitants d'icelle, nous avons quitté, remis et donné aux bourgeois, manants et habitants d'icelle ville de grâce spéciale, la somme de trois cent livres tournois sur leur impôt et portion de l'aide dernièrement imposé au bas pays d'Auvergne pour le fait de notre passage et pour la conduite et entretenement (entretien) de notre présente armée. » (Transcription AD 63[12])

De 1482 à 1483, nouvelle épidémie. Le Conseil de Ville arrête de *« rejeter hors de Clermont beaucoup de personnes infectées et de tenir les foires hors la ville*. »

Le 9 avril 1483, il est décidé qu'il « *serait bon de faire un cierge qui brulât nuit et jour devant Notre-Dame-de-Grâce pour la cessation de la pestilence*. »[13]

---

[10] Messance (1766) : Recherche sur la population des généralités d'Auvergne, de Lyon, de Rouen, ….Paris.

[11] Peghoux (Dr) (1835) : Sur les épidémies qui ont ravagé l'Auvergne, Annales de l'Auvergne, T 8.

[12] www.archivesdepartementales.puydedome.com

[13] Peghoux (Dr). Op. cit.

Comme on le constate, ces épidémies sont une catastrophe pour la population dont les effectifs ne peuvent que diminuer. Sans parler des faits de guerre qui viennent s'ajouter à ce contexte, il est fort probable que la population de Clermont ne dépassât pas la dizaine de milliers d'habitants vers les années 1480-1490.

6.1.3. Les effets du séisme du 1er mars 1490

La secousse sismique du 1er mars 1490 n'est pas la première d'une certaine importance ressentie par Clermont. En effet, quelque temps auparavant, le 29 juin 1477, un précédent séisme avait déjà quelque peu endommagé les murailles de la ville nous informent les archives : « *ses tours, murailles et portaux sont tombés ou démolis en plusieurs endroits.* [14]»

Mais la secousse du 1er mars 1490 s'avère quant à elle plus violente encore. Dans une succession de délibérations du Conseil de Ville de Clermont, dont la première est datée du 3 mars 1490, nous lisons :

- « *que le tremble terre avoit abattu et gecté par terre plusieurs tours de la ville et entre aultres la tour de la maison de la ville et des portes des Gras et de sainct-Pierre et que il estoit neccessaire dabbatre ce que le tremble avoit cassé, (…),*

- *« que la porte de la Boucherie ne se pouvoit fermer aclef acause que le tramble terre lavoit toute desioncté* [disjointe]*…(…),*

- *« pour faire reparacion à la tour de Bort pour que la voulte ne chaye* [ne tombe] *(…),*

- *« que les ponts levys étoient tous rompus* (…) », etc.

Au cours des semaines et mois qui suivront, et ce jusqu'aux délibérations du 15 septembre 1491, l'abbé Pelletier[15] a relevé la notification de nombreuses réparations « *comme ne pouvant souffrir aucun retard* ». Cette liste de travaux est selon lui imputable au séisme.

Les principaux dommages se résument ainsi :

- l'Hôtel de ville : sa tour a été détruite ainsi que les toitures du reste du bâtiment ; celui-ci est affecté de profondes lézardes ;
- la tour des Gras qui faisait partie des remparts a été abattue ;
- la Porte de la Boucherie est affectée de brèches ;

[14] Lambert. J. (1997) : Les tremblements de terre en France, Hier, Aujourd'hui, Demain. BRGM Editions.

[15] Pelletier. H. (1969) : Notes historiques sur les séismes d'Auvergne, Revue des sciences naturelles d'Auvergne, T. 35.

- la tour Saint-Pierre attenante aux remparts est partiellement écroulée, elle doit être refaite ainsi que la porte Saint-Pierre ;
- la tour de Bort doit être réparée ;
- la tour des Frères Mineurs menaçant ruine est irréparable et doit être abattue ; la porte des Frères Mineurs doit être réparée ;
- la tour Constave doit subir des réparations ainsi que la tour Ligonne et la tour Champeau ;
- le mur d'enceinte depuis la chapelle Saint-Barthélemy jusqu'à la porte Saint-Pierre nécessite aussi des réparations ;
- la tour Doyre s'est effondrée ;
- une tourelle de la tour Notre-Dame ainsi que la tour Cornay et la tour Neuve sont aussi à réparer.

Ces dommages sont répertoriés à titre indicatif sur la figure 26 ci-dessous :

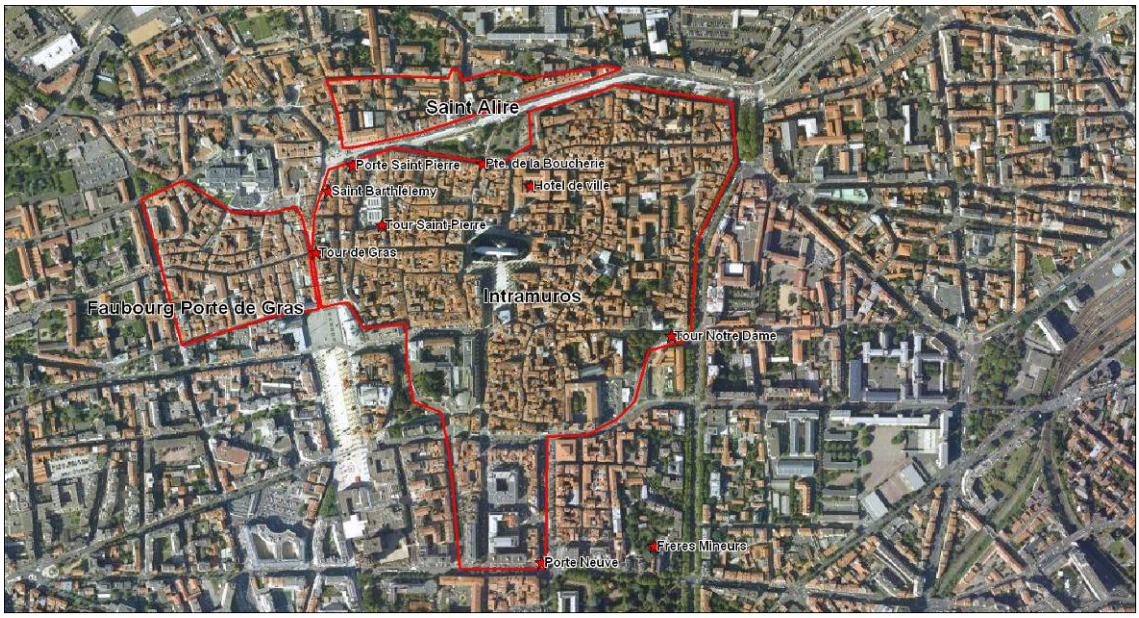


Figure 26 - Localisation des principaux dommages relevés lors du séisme de Limagne de 1490 sur la ville de Clermont

Les limites supposées de la ville de Clermont en 1490 sont indiquées en rouge et le fond cartographique est une orthophotographie du centre-ville de Clermont-Ferrand de nos jours.

Tous ces dommages sur les édifices les plus remarquables de Clermont - en l'occurrence ceux qui ont trait aux ouvrages religieux, militaires ou dépendants de l'autorité civile (Hôtel de ville) - s'accordent avec une intensité macrosismique assez élevée. L'endommagement des pont-levis, la chute fut-elle partielle des murs d'enceinte, la chute d'une des tourelles de Notre-Dame-du-Port, les brèches dans les portes de la ville et l'écroulement de diverses tours conduisent à estimer l'intensité de

cette secousse au degré VII-VIII (7,5) sur l'échelle d'intensité des séismes MSK (qui comporte 12 degrés).

Dans l'état des connaissances actuelles, l'épicentre du séisme de 1490 estimé au degré VIII (8,0) est localisé à quelque distance au Nord de Clermont-Ferrand, dans le triangle Pontgibaud-Cébazat-Riom.

6.2. HYPOTHESES RETENUES POUR CE SCENARIO HISTORIQUE

Le scénario historique prend en compte quatre grandes zones qui existaient sûrement en 1490 (Figure 27) :

- la cité intramuros de Clermont, bâtie autour de la cathédrale ;
- les quartiers extramuros de Saint-Alyre et porte des Gras, possiblement existants déjà à l'époque ;
- la ville de Montferrand, indépendante de Clermont à l'époque.

Le tissu urbain de ces quartiers, avec des petites ruelles tortueuses et étroites, n'a sans doute pas changé significativement par rapport à l'actuel. Ainsi, le nombre de maisons par unité de surface devait être assez proche en 1490 de ce qu'il est actuellement.

Un comptage de la densité moyenne de bâtiments par hectare en l'état actuel a été réalisé, en estimant en moyenne 30 maisons/ha. Cette densité a été appliquée aux polygones des zones habitées présumées en 1490.

Le nombre total de bâtiments estimé est ainsi de 1426. Avec une moyenne de 5 habitants par bâtiment, la population de Clermont et de Montferrand serait de 7 130 personnes. Avec une moyenne de 7 habitants par bâtiment, la population totale serait de 9 982 personnes. Ces estimations de population sont assez cohérentes avec l'estimation d'une population de Clermont inférieure à 10 000 habitants au moment du séisme de 1490 (voir § 6.1.2).

Les données sur la vulnérabilité sismique des bâtiments de l'époque sont inexistantes. Etant donné que le but est de donner une indication grossière, un traitement très simpliste a été réalisé. Ainsi, 20 % des bâtiments sont considérés en classe de vulnérabilité EMS98 B (meilleure qualité constructive, possiblement associée aux églises, couvents, hôtels) et tous les autres bâtiments (80 %) en classe A.

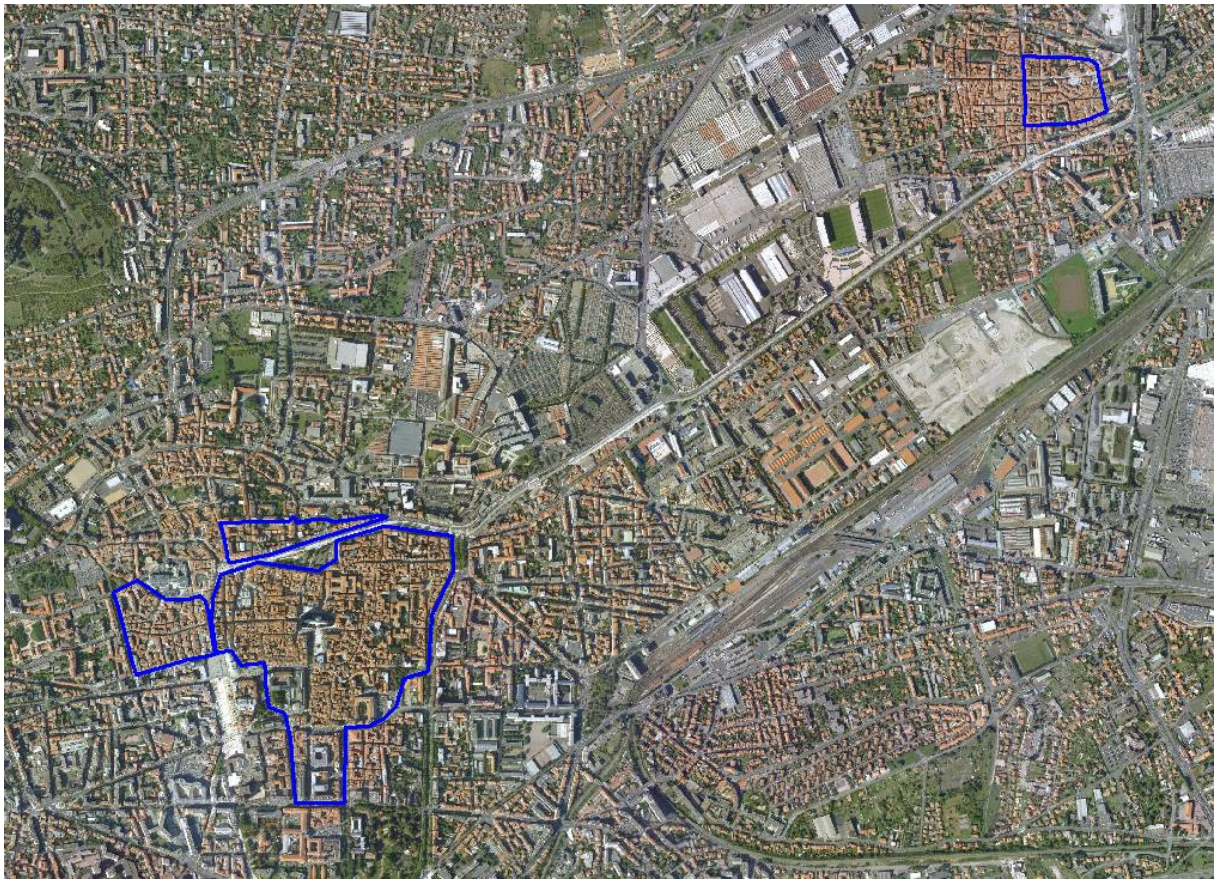


Figure 27 - Localisation des 4 zones bâties supposées en 1490 utilisées pour le scénario sismique

6.3. RESULTATS DES SIMULATIONS

Le scénario historique de la situation en 1490 donne les résultats suivants.

Les 3 zones de Clermont ont un taux de dommages forts (effondrement partiel ou total) autour du 15-17 %. En revanche, Montferrand compte environ 9 % de dommages forts. Les dégâts modérés (fissures, lézardes, chute de cheminées) varient entre 49 % à Clermont et 57 % à Montferrand. Les dégâts faibles sont d'environ 21 % à Clermont et 33 % à Montferrand.

Les dégâts plus faibles à Montferrand qu'à Clermont seraient provoqués par deux causes :

- à la différence de Clermont, le centre historique de Montferrand ne se situe pas sur des zones à possible effet de site ;
- Montferrand est plus éloigné de l'épicentre supposé, situé au Nord-Ouest de la commune de Clermont-Ferrand.

En conclusion, outre les dégâts observés et cités précédemment pour les remparts, tours et portes de la cité de Clermont, les bâtiments à usage d'habitation de l'époque ont sûrement été fortement endommagés.

Il convient enfin de noter que, dans la littérature consultée, il n'y a aucune indication sur le nombre de personnes décédées ou blessées lors de ce séisme, les seules indications de dommages concernant les bâtiments symboliques de la ville et non les bâtiments d'habitation. Cependant, on sait que dès qu'un séisme provoque des dégâts importants, comme c'est le cas à Clermont-Ferrand pour ce séisme de 1490, des pertes humaines sont probables.

7. Conclusion

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention entre la DREAL Auvergne et le BRGM et visait à estimer les dommages qui seraient générés sur le bâti courant actuel par un séisme équivalent à celui qui a touché la Basse-Auvergne en mars 1490. Les dommages du séisme de 1490 sur le bâti de l'époque ont par ailleurs été évalués à l'issue d'une étude bibliographique et un scénario de dommage a été réalisé sur le bâti estimé de l'époque.

Les simulations réalisées prennent en compte l'aléa sismique à l'échelle régionale mais aussi locale, via la caractérisation des effets de site lithologiques, ainsi que la vulnérabilité des structures. Ces simulations permettent d'obtenir des résultats exploitables à l'échelle de la commune en matière d'aménagement du territoire communal :

- La zone où les dommages seraient les plus importants est le centre-ville historique de Clermont (îlots 401, 402, 403 et 202). Plus généralement, des dommages moyens à forts sont attendus pour toute la zone urbanisée située entre les centres historiques de Clermont et de Montferrand.

- Les dommages simulés sont beaucoup moins prononcés sur le bâti actuel que sur le bâti de 1490 du fait d'une moins grande vulnérabilité des constructions : ainsi on estime que seulement de 1 à 3 % des bâtiments actuels seraient fortement endommagés ou détruits, alors qu'on obtient des proportions de l'ordre de 9 à 17 % pour le bâti de 1490. De même, les bâtiments moyennement endommagés seraient pour l'ensemble des îlots de l'ordre de 22 % actuellement contre 49 à 57 % avec le bâti de 1490. En globalité, le bâti courant actuel est donc proportionnellement beaucoup moins vulnérable que le bâti courant de l'époque, même s'il faut garder en mémoire que le nombre de bâtiments considérés pour l'ensemble de la commune a dans le même temps fortement augmenté.

- L'étude a permis de préciser les zones où l'influence des effets de site d'une part et de la vulnérabilité des structures d'autre part étaient prépondérante. La zone du centre-ville historique est ainsi à la fois parmi la plus vulnérable de la ville et également située sur une zone où des effets de site lithologiques modérés sont estimés. D'autres zones sont identifiées comme étant relativement vulnérables (centre-ville de Montferrand, cité Michelin par exemple) ou situées sur des zones à effets de site (Nord de la ville par exemple).

- Cette tentative de discrimination de l'influence respective des effets de site et de la vulnérabilité permet ainsi d'identifier clairement les zones où il serait nécessaire de réaliser un éventuel microzonage sismique. Un tel microzonage permettrait par exemple de caractériser précisément les amplifications du mouvement sismique (on rappelle que dans la présente étude les amplifications ont au contraire été considérées de façon forfaitaire).

- A l'issue de cette même étude complémentaire de discrimination des résultats, les zones les plus vulnérables de la commune peuvent par ailleurs être cartographiées, ce qui peut être une information importante pour les décideurs.

Toutes ces conclusions pourront également être utiles dans le cadre de l'application locale de la nouvelle réglementation en matière de risque sismique publiée en octobre 2010.

Dans le cadre de la déclinaison régionale du Plan Séisme, une restitution des résultats de cette étude est par ailleurs prévue auprès des élus de la ville de Clermont-Ferrand.

8. Bibliographie

Grünthal G., Musson R. M. W., Schwarz J., Stucchi M. (1998) - European Macroseismic Scale 1998 (EMS98). Cahiers du centre européen de géodynamique et de séismologie, volume 15, Luxembourg.

Lagomarsino S., Giovinazzi S. (2006) - Macroseismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4, pp. 445-463.

Rey J., Auclair S., Bès de Berc S., Negulescu C., Vandromme R., Conil P., Rocher P., Dugrillon D., Rivet F., Renault O., Picot J.C., Rouzaire D. (2009) - Pré-diagnostic sur les microzonages sismiques pour des communes d'importance variable. Rapport final. BRGM/RP-57129-FR.

RISK-UE (2003). An advanced approach to earthquake risk scenarios with application to different european towns. Projet européen, EVK4-CT-2000-00014.

Sedan O., Terrier M., Negulescu C, Winter T., Roullé A., Douglas J., Rohmer J., Bès de Berc S., De Martin F., Arnal C., Dewez T., Fontaine M. (2008) - Scénario départemental de risque sismique- Méthodologie et processus de réalisation. Rapport BRGM/RP-55415-FR, 459 p, 96 fig., 45 tabl., 25 annexes.

Annexes

Distribution en pourcentages des immeubles collectifs en classes de vulnérabilité.

IRIS	Part des logements dans le collectif	Ensemble des immeubles collectifs de la commune: Total immeubles collectifs	avant 1915		de 1915 à 1948	de 1949 à 1974	de 1975 à 1989	à partir 1990	
			Classe de vulnérabilité associée (EMS98)						
			A/B/C		B	C	D	E	Classe(s) dominante(s)
0101	**96%**	75	**19%**	*B*	**41%**	33%	0%	7%	***B***
0201	**93%**	189	8%	*B*	23%	**59%**	3%	7%	***C***
0202	**94%**	264	**30%**	*B*	**44%**	21%	3%	2%	***B***
0301	**95%**	363	**48%**	*B**	**22%**	21%	6%	4%	***B***
0302	**96%**	226	**18%**	*B*	**31%**	**36%**	7%	7%	***B/C***
0401	**95%**	593	**75%**	*B**	**14%**	6%	2%	3%	***B***
0402	**95%**	459	**90%**	*B**	**4%**	2%	0%	4%	***B***
0403	**97%**	168	**61%**	*B*	**8%**	10%	18%	3%	***B***
0501	**91%**	464	**34%**	*B**	**25%**	23%	8%	9%	***B***
0601	**56%**	93	0%	-	1%	**91%**	6%	1%	***C***
0602	44%	85	4%	-	35%	51%	4%	7%	***B***
0701	**68%**	305	**45%**	*B**	**18%**	30%	4%	3%	***B***
0801	**70%**	152	**5%**	*B*	**36%**	**41%**	9%	9%	***B/C***
0901	**74%**	198	**3%**	-	**27%**	**53%**	9%	9%	***B/C***
0902	44%	93	0%	-	33%	44%	11%	12%	
1001	**81%**	170	4%	-	15%	**65%**	7%	9%	***C***
1101	**70%**	130	0%	-	4%	**78%**	10%	8%	***C***
1201	**79%**	189	2%	-	21%	**57%**	12%	10%	***C***
1301	**81%**	187	0%	-	4%	**60%**	27%	9%	***C***
1401	**85%**	41	0%	-	15%	**73%**	10%	2%	***C***
1402	**88%**	88	**2%**	-	**20%**	**49%**	**24%**	5%	***B/C/D***
1403	**94%**	107	0%	-	11%	**80%**	1%	7%	***C***
1501	**88%**	201	2%	-	15%	**64%**	14%	4%	***C***
1502	**75%**	280	2%	-	29%	**57%**	8%	5%	***C***
1601	**94%**	294	**5%**	*B*	**40%**	**47%**	3%	5%	***B/C***
1701	**98%**	98	**16%**	*B*	**29%**	**30%**	8%	17%	***B/C***
1702	**98%**	325	**25%**	*B**	**24%**	**33%**	8%	10%	***B/C***
1801	**73%**	118	5%	*B*	12%	**64%**	15%	3%	***C***
1802	**85%**	184	3%	-	10%	**65%**	9%	13%	***C***
1803	**74%**	134	1%	-	17%	**69%**	10%	2%	***C***
1901	30%	81	1%	-	21%	67%	9%	2%	***B***
1902	**61%**	121	1%	-	6%	**81%**	7%	5%	***C***
1903	**77%**	132	**1%**	-	**30%**	**52%**	14%	4%	***B/C***
2001	**69%**	28	0%	-	0%	39%	**61%**	0%	***D***
2002	**97%**	53	0%	-	2%	**68%**	30%	0%	***C***
2003	**64%**	54	0%	-	4%	**41%**	**52%**	4%	***C/D***
2101	24%	42	0%	-	2%	67%	26%	5%	***B***
2201	**92%**	19	0%	-	0%	**68%**	32%	0%	***C***
2202	**63%**	27	0%	-	0%	**100%**	0%	0%	***C***
2301	**95%**	159	1%	-	1%	**93%**	6%	0%	***C***
2401	48%	78	14%	*B*	47%	35%	3%	1%	
2501	20%	44	9%	*B*	20%	57%	5%	9%	
Total	**80%**	**7111**	**25%**		**20%**	**41%**	**8%**	**6%**	

Répartition en nombre de bâtiments par classe de vulnérabilité EMS98 utilisée dans le scenario de risque sismique de la ville de Clermont-Ferrand

		Nombre de bâtiments par type et classe de vulnérabilité							
		Maison individuelle				Habitat collectif			
		avant 1948	de 1949 à 1974	de 1975 à 1989	à partir 1990	avant 1948	de 1949 à 1974	de 1975 à 1989	à partir 1990
		Classe de vulnérabilité associée (EMS98)							
ID IRIS	IRIS	B	C	C-D	D	B	C	D	E
101	Ilot 1er Mai	8	0	0	0	45	25	0	5
201	Pelissier	48	25	5	6	59	112	5	13
202	Charras	41	7	1	0	195	55	9	5
301	Trudaine	77	9	3	1	252	76	22	13
302	Lecoq	43	27	8	0	112	82	16	16
401	Jaude	66	9	3	5	532	33	13	15
402	Le Port	71	3	0	4	432	8	2	17
403	Ballainvilliers	20	0	0	0	117	16	30	5
501	Saint-Alyre	151	35	0	0	276	107	37	44
601	Chanturgue	147	242	177	57	1	85	6	1
602	Bien Assis	166	357	63	16	33	43	3	6
701	Montferrand	426	95	48	12	194	90	11	10
801	Republique	151	56	12	10	62	63	14	13
901	Anatole France	158	186	56	39	59	104	18	17
902	Simmonet	304	106	143	116	31	41	10	11
1001	l'Oradou	192	124	142	55	32	110	12	16
1101	La Fontaine du Bac	72	300	247	48	5	102	13	10
1201	Leon Blum-La Raye Dieu	351	138	52	16	42	107	22	18
1301	Sud-Saint-Jacques	177	195	46	105	7	113	50	17
1401	Dolet	28	22	6	0	6	30	4	1
1402	A. Duclos	131	68	3	0	20	43	21	4
1403	La Rotonde	55	34	0	0	12	86	1	8
1501	Poncillon	109	51	8	1	34	129	29	9
1502	André Theuriet	357	267	37	22	85	159	22	14
1601	Les Salins	89	42	3	7	132	138	10	14
1701	Gabriel Perry	1	4	0	0	44	29	8	17
1702	Bonnabaud	40	4	0	3	161	107	26	31
1801	Jean Zay	75	201	88	25	20	76	18	4
1802	Bergougnan	76	147	15	3	24	120	17	23
1803	Parc de Montjuzet	82	195	40	23	25	92	14	3
1901	Les Cotes	136	340	263	205	18	54	7	2
1902	Channelles	103	218	204	70	8	98	9	6
1903	Champfleuri	137	64	26	21	40	69	18	5
2001	La Boucle	0	30	307	36	0	11	17	0
2002	Torpilleur Sirocco	4	19	3	2	1	36	16	0
2003	Sous Les Vignes	37	93	154	48	2	22	28	2
2101	La Plaine	961	250	49	84	1	28	11	2
2201	Champratel	0	61	5	4	0	13	6	0
2202	Les Vergnes	77	444	101	6	0	27	0	0
2301	La Gauthiere	14	38	23	60	2	148	9	0
2401	Le Brezet	69	104	87	8	48	27	2	1
2501	La Pardieu	120	154	163	117	13	25	2	4

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service Géologique Régional Auvergne
Campus des Cézeaux
12, avenue des Landais
63170 Aubière - France
Tél. : 04 73 15 23 00