



Évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique

STAGE COLLECTIF – AVRIL/JUILLET 2015



Alcine Ferraris – Sophie Juarez – Sarah Knefati – Marjorie Marteles
TUTEUR : K. SERRHIHI, CO-TUTEUR : E. M. SEDDIKI | VILLE DE NICE : Y. FERRAND, Y. DORGIGNE

Évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique

Stage collectif

12 avril – 3 juillet 2015

Mairie de Nice

Tuteur universitaire : Kamal SERRHINI

Co-tuteur universitaire : El-Mehdi SEDDIKI

Tuteurs professionnels : Yannick FERRAND, Yannick DORGIGNE

Sommaire

SOMMAIRE	3
REMERCIEMENTS	5
INTRODUCTION	6
I. UN SITE D'ETUDES PRIVILEGIE	8
1) LES CARACTERISTIQUES DE LA VILLE DE NICE	8
A. UN TISSU ECONOMIQUE ET URBAIN DENSE	8
B. UNE URBANISATION CONTENUE PAR LE RELIEF	9
2) LE RISQUE SISMIQUE DANS LES ALPES MARITIMES	11
A. UNE ZONE DE SISMICITE MOYENNE	11
B. LES PRECEDENTS TRAVAUX SUR LE RISQUE SISMIQUE DANS LA REGION	12
II. ÉTAT DE L'ART	15
1) DEFINITIONS GENERALES	15
A. LE RISQUE	15
B. L'ENJEU	16
C. L'ALEA	16
D. LA VULNERABILITE	17
2) LES DIFFERENTES METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU BATI	18
A. LES METHODES ANALYTIQUES	18
B. LES METHODES EMPIRIQUES	20
3) LES ECHELLES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE ET LEUR REPRESENTATION	27
A. L'ECHELLE URBAINE	27
B. L'ECHELLE DE L'AGREGAT	29
C. L'ECHELLE DU BATIMENT	29
4) POURQUOI L'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU BATI EST-ELLE COMPLEXE ?	30
III. METHODE D'EVALUATION PROPOSEE	31
1) LES CRITERES DE CARACTERISATION DES BATIMENTS	31
2) L'ECHANTILLONNAGE	33
3) DEUX APPROCHES MISES EN PLACE	34
A. TRAVAIL COMMUN AUX DEUX METHODES	34
B. METHODE ANALYTIQUE	35
C. METHODE EMPIRIQUE	35
4) POUR TERMINER...	35
IV. TRAITEMENT DES DONNEES	36
1) UNE DEMARCHE COMMUNE AUX DEUX APPROCHES	36
2) UNE DEMARCHE PARTICULIERE A L'APPROCHE ANALYTIQUE	38

3) UNE DEMARCHE PARTICULIERE A L'APPROCHE EMPIRIQUE	40
A. LA METHODE RISK-UE : CALCUL DE L'INDICE DE VULNERABILITE	40
B. ÉVALUATION DE L'INDICE DE VULNERABILITE A PARTIR DE DONNEES THEORIQUES	43
C. ÉVALUATION DE L'INDICE DE VULNERABILITE A PARTIR DE DONNEES REELLES	48
D. EXEMPLE DE CALCUL D'INDICE DE VULNERABILITE A PARTIR DE DONNEES THEORIQUES ET DE DONNEES REELLES	54
V. ANALYSE DES DONNEES	60
1) LA CONCORDANCE DES BASES DE DONNEES	60
2) L'IMPACT DE LA DIFFERENCE DE DONNEES DANS L'EVALUATION DU DOMMAGE	62
VI. GENERALISATION ET APPLICATION	68
1) METHODOLOGIE MISE EN PLACE	68
2) PROBLEMES RENCONTRES	69
3) RESULTATS ET LIMITES	70
4) APPLICATION : CALCUL DU NOMBRE DE SANS ABRIS	72
CONCLUSION	74
TABLE DES ILLUSTRATIONS	76
BIBLIOGRAPHIE	78
ANNEXES	81
1) SCRIPT PYTHON ET EXPLICATION	81
2) FICHE EXPLICATIVE DES FICHES BATIMENTS	82
3) QUELQUES FICHES BATIMENTS	83
A. BATIMENTS PRINCIPAUX	83
B. BATIMENTS VOISINS	85

Remerciements

Nous souhaitons en premier lieu remercier nos encadrants de l'université de Tours :

- Mr Kamal Serrhini, du département Aménagement et Environnement de Polytech Tours, pour son aide et son soutien tout au long du stage. Sa disponibilité et ses conseils nous ont régulièrement remotivées et poussées à aller plus loin.
- Mr El Mehdi Seddiki, doctorant au Laboratoire Citeres, pour nous avoir introduit les notions principales sur les séismes et les études relatives. La bibliographie fournie nous fut très utile, et ses précisions à chaque étape ont contribué à notre rigueur de travail.
- Mme Sandrine Prunier, de l'administration du laboratoire Citeres, pour sa réactivité dans ses réponses et son travail pour que notre séjour se passe bien.

A la mairie de Nice, nous voulons remercier :

- Mr Yannick Ferrand, Directeur de la DPGR (Direction de la Prévention et de la Gestion des Risques), pour son encadrement et son écoute.
- Mr Yannick Dorgigné, Chef du service Risques Majeurs et Sécurité Civile de la DPGR, pour ses remarques pertinentes et pleines d'intérêt à l'égard de notre travail.
- Pascal Queyrel, Responsable technique du territoire Centre Ouest de la ville de Nice, pour sa disponibilité alors même qu'il ne faisait plus partie du service. Son aide nous a été très précieuse.
- Mr Philippe Boudon, du service de la Prévention des Risques Urbains de la DPGR, pour ses explications claires et complètes sur le génie civil, et le temps qu'il a libéré pour nous dans son emploi du temps.
- Mr Michel Steve, Architecte et Responsable du pôle Architecture-rénovation du Service des Autorisations d'urbanisme et permis de construire, pour son expertise et les multiples rendez-vous que nous lui avons demandé. Son aide a été plus que précieuse.

Nous remercions aussi toutes les personnes extérieures qui nous ont aidé :

- Mr Etienne Bertrand, Chef du service Risque Sismique du CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement) de Nice, pour le temps qu'il nous a accordé afin de répondre à nos questions, et les documents qu'il nous a transmis.
- Mr Reda Zeghari, étudiant au département Mathématiques Appliquées et Modélisation à Polytech Nice, pour son aide et sa bonne humeur lors du codage de notre script sur ArcGis.
- Tous nos amis et nos familles, qui nous ont soutenu et encouragées pendant le stage.

Introduction

Dans nos sociétés actuelles, la notion de risque est devenue omniprésente et est une composante majeure des politiques publiques. On la retrouve ainsi dans les politiques environnementales (risque de pollution), de santé (risque de contamination) conduisant à l'élaboration de politiques préventives. Nous sommes dans une société de plus en plus sécurisée et, dans un but d'accroître cette sécurité, la notion de risque est un outil indispensable. Elle permet d'appréhender des phénomènes probables en les quantifiant, et elle est notamment utilisée pour décrire les phénomènes naturels tels que les séismes, typhons ou inondations. Ces phénomènes causent de nombreux dégâts et dommages (humains, financiers), particulièrement dans les zones urbaines où la densité de population est forte. De nombreux programmes de recherche ont vu le jour sur des territoires « sensibles » dans le but d'élaborer des méthodes d'évaluation du risque et dans la mise en place de politiques publiques concrètes et efficaces.

En France, le département des Alpes-Maritimes est sujet aux 7 risques qualifiés de majeurs: les inondations, les feux de forêts, les transports de matières dangereuses, les mouvements de terrain, les phénomènes météorologiques, les établissements industriels à risques et les séismes. Sa préfecture, la ville de Nice, de par son relief spécifique et sa forte densité de population constitue un terrain d'étude privilégié concernant le risque sismique. Proche de la microplaque italo-adriatique et à proximité de nombreuses failles actives, les séismes font partie intégrante de l'histoire de la ville. En effet, la ville de Nice est située dans l'une des zones les plus sismiques de France. La ville a déjà été marquée par deux séismes dans le passé : Vésubie en 1644 et Ligure en 1887. Nice représente la cinquième densité de France ainsi que le deuxième pôle touristique du pays (2^{ème} aéroport de France); les enjeux sont donc d'ordre humain et économique.

Ainsi, Nice apparaît comme ville pionnière sur la question du risque sismique en France. Elle est à l'origine de nombreuses initiatives quant à l'étude, la prise en compte et la gestion du risque sismique. Elle a ainsi joué un rôle important dans plusieurs projets tels que GEMITIS (1993), GERIA (1999), RISK-UE (2004), GEMGEP (2005), RATCOM (2007).

Dans le cadre d'une collaboration franco-allemande entre l'UMR CITERES, le BRGM, l'ANR, l'Université de Tours et l'Université de Kaiserslautern (Allemagne)¹, deux stages ont déjà été effectués en 2012 et 2014 avec pour objectif la réalisation d'un plan d'évacuation de la ville de Nice en cas de séisme pour le premier et, dans la continuité, une mise à jour des données collectées ainsi qu'un affinage du travail précédemment établi. Ce thème d'étude constitue le premier volet d'un projet de recherche. Notre travail s'inscrit dans la deuxième phase du projet, et porte sur l'évaluation de la vulnérabilité du bâti niçois en cas de séisme.

De nombreuses études existent déjà sur l'étude de la vulnérabilité d'un bâtiment, mais nous travaillons dans l'optique de la mise en place d'une nouvelle méthode d'analyse de cette vulnérabilité. Afin de mener à bien la mise en place de cette méthode, nous travaillerons à partir d'un échantillon représentatif de la ville de Nice. La première partie consistera à tester à proprement dit la méthode. Nous cherchons à comparer les résultats issus d'une méthode analytique, (traitée par Mr El Mehdi Seddiki, doctorant au laboratoire CITERES, dans le cadre d'une thèse²) et ceux issus

¹ Appel à projets : CSOSG « Concepts Systèmes et Outils pour la Sécurité Globale ». Projet « Système d'Aide à la Décision Multicritère pour la Logistique de l'Evacuation à Grande Echelle ».

² E.M. Seddiki, K. Serrhini, M. Maïzia, «*Using the macro-element method to assess the seismic vulnerability of masonry aggregates : large scale methodology* »

de la méthode Rik-UE, une méthode empirique. Dans un second temps, nous chercherons à mettre en évidence l'impact des données d'entrée à travers la méthode d'évaluation de la vulnérabilité mis en place dans Risk-UE. Pour cela nous comparerons les résultats issus de cette méthode à partir des critères requis, présents dans les bases de données disponibles avec ceux toujours issus de cette méthode mais à partir de nos observations sur le terrain. Les critères utilisés seront déterminés à partir d'un travail de terrain et d'enquête afin de traduire au mieux la réalité présente.

I. Un site d'études privilégié

La ville de Nice apparaît comme un terrain d'étude par excellence en matière de risque sismique et possède des caractéristiques bien particulières qui lui confèrent ce statut.

1) Les caractéristiques de la ville de Nice

a. Un tissu économique et urbain dense

Située dans le Sud Est de la France, la ville de Nice est le chef-lieu du département des Alpes Maritimes et est à la tête de la Métropole Nice Côte d'Azur. Cinquième ville française, elle joue un rôle tant politique qu'économique dans le paysage français et européen. Avec ses 344 460 habitants (chiffres INSEE 2012), Nice représente à elle seule plus de la moitié de la population de la Métropole Nice Côte d'Azur, répartie sur un peu plus de 5% de son territoire.

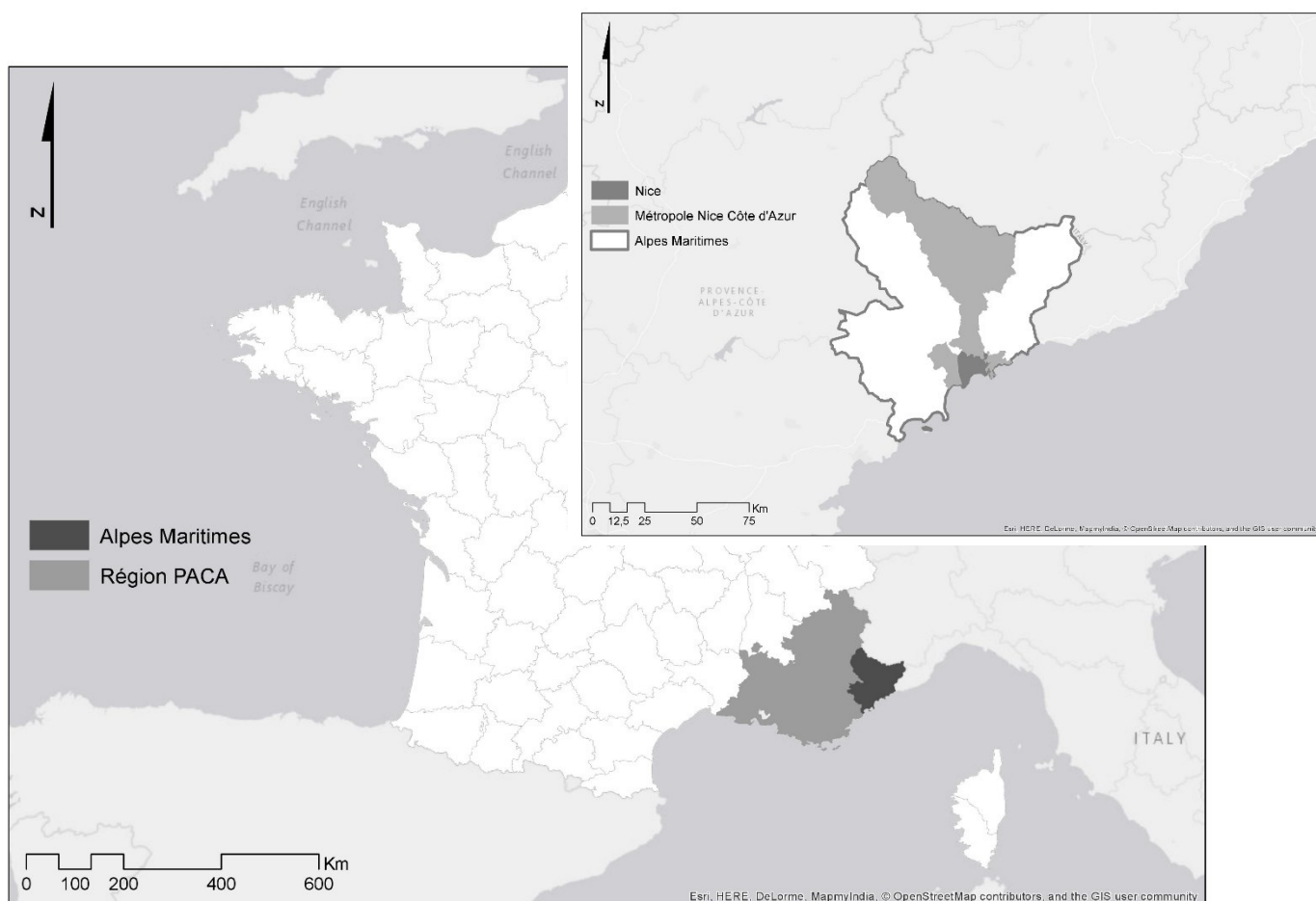


Illustration 1: Carte de la situation des Alpes-Maritimes et de Nice en France

Réalisation : Stage collectif Nice 2015 (A. Ferraris, S. Juarez, S. Knefati, M. Marteles), juillet 2015

D'après l'INSEE (2012), la ville compte 54 000 bâtiments en 2015 dont 33 000 sont des bâtiments habitables (superficie minimale de 27m²). Elle dispose de 223 843 logements dont 12.6%

de résidences secondaires, et 12.8% de logements vacants. Il y a très peu de logements individuels car 91% des logements sont collectifs. Les deux tiers de ces logements se sont construits à partir des années 1990 et 20% des logements ont été construits avant 1946. La ville de Nice présente une très forte densité avec 4 784 habitants par km². Elle apparaît ainsi comme la deuxième ville française la plus densément peuplée. Elle concentre sa population essentiellement dans le centre de Nice, le vieux Nice, ainsi que le littoral.

Avec 4 millions de visiteurs en 2002, Nice représente le 2ème pôle touristique français et constitue donc un atout majeur dans l'économie française. C'est également la deuxième ville d'accueil de congrès en France, particulièrement grâce à l'Acropolis ainsi qu'aux voies d'accès très développées comme le port et l'aéroport Nice Côte d'Azur.

L'économie de la ville de Nice est essentiellement tournée vers le tourisme et l'accueil, même si récemment des industries de pointe se sont installées dans la ville (plaine du Var).

Cette densité ainsi que le tourisme et l'économie locale représentent autant d'enjeux face à un risque sismique.

b. Une urbanisation contenue par le relief

Une des spécificités de Nice est son relief. Il explique cette forte densité en limitant l'étalement urbain au cours des siècles. La ville est ainsi coincée entre la mer et la montagne et compte cinq collines principales, séparées par des vallées.

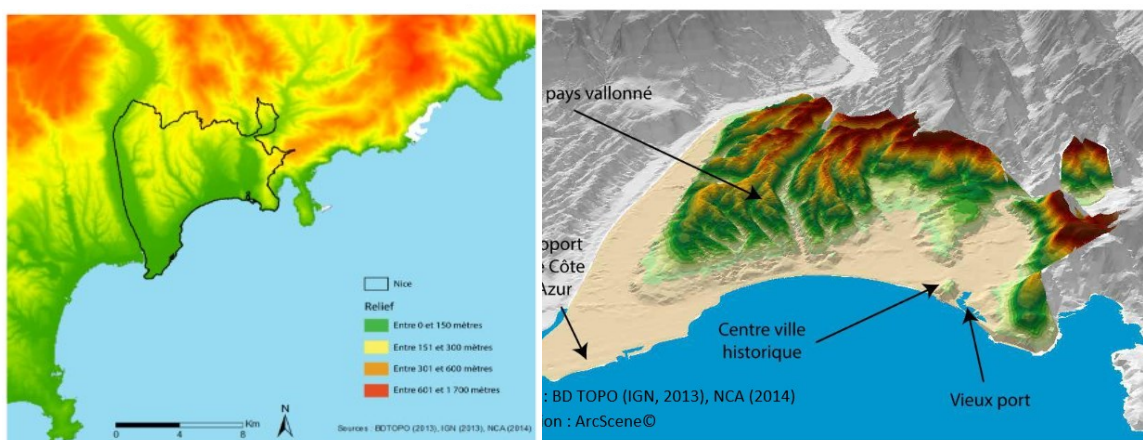


Illustration 2: Carte du relief de Nice

Réalisation : M. Cadoul, T. Desmedt, C. Fontaine, J. Lecoutere, N. Noel, Atelier Plan d'évacuation interne de la ville de Nice face au risque sismique, EPU DA5, 2015

On note la première présence humaine sur le site de Terra Amata, il y a 400 000 ans avant notre ère. Par la suite, Nice est habitée en deux lieux : Nikaia (la colline du château, où les phéniciens puis les grecs s'installent) et Cemenelum (actuellement Cimiez, colline habitée par les romains). La ville de Cemenelum décline peu à peu avant d'être abandonnée au VIème siècle, la population se concentre alors sur la colline du château avant de s'étendre peu à peu. Au XIIIème siècle, on commence à investir les pentes de la colline. La ville s'étend dans la plaine à partir de la Renaissance, et crée l'actuelle vieille ville. Avec l'ouverture du port Lympia en 1612, la ville s'enrichit et s'accroît. Par la suite, la noblesse anglaise vient s'installer dans le Sud de la France, à la recherche de soleil, et

les propriétaires de terres niçoises construisent alors des villas au-delà du torrent du Paillon. En 1880, le chemin de fer arrive jusqu'à Nice et fait décoller la fonction d'accueil de la ville. Des palaces sont alors construits sur la colline de Cimiez et sur le bord de mer (par exemple l'hôtel Negresco, achevé en 1912). Cette forte activité touristique entraîne un besoin de main d'œuvre. Cette dernière quitte l'arrière-pays et l'Italie pour s'installer dans les nouveaux quartiers de Saint-Roch, puis dans le vallon de la Madeleine. A la fin de la seconde Guerre Mondiale, la ville connaît une explosion urbaine et devient capitale régionale. Elle continue de s'étendre à la suite de l'arrivée des rapatriés d'Afrique du Nord dans les années 1960. Cette extension se fait vers le Nord de la plaine centrale et de la plaine du Var. Aujourd'hui, il ne reste que très peu de terrains plats urbanisables (dans la plaine du Var). Du fait du relief, la ville a atteint les limites de son extension et a développé une urbanisation particulière.

Nous avons pu réaliser, avec l'aide de Mr Steve¹, une carte qui situe les grandes périodes de construction sur Nice. Nous distinguons six grandes périodes, et nous les utiliserons dans la suite de notre travail.

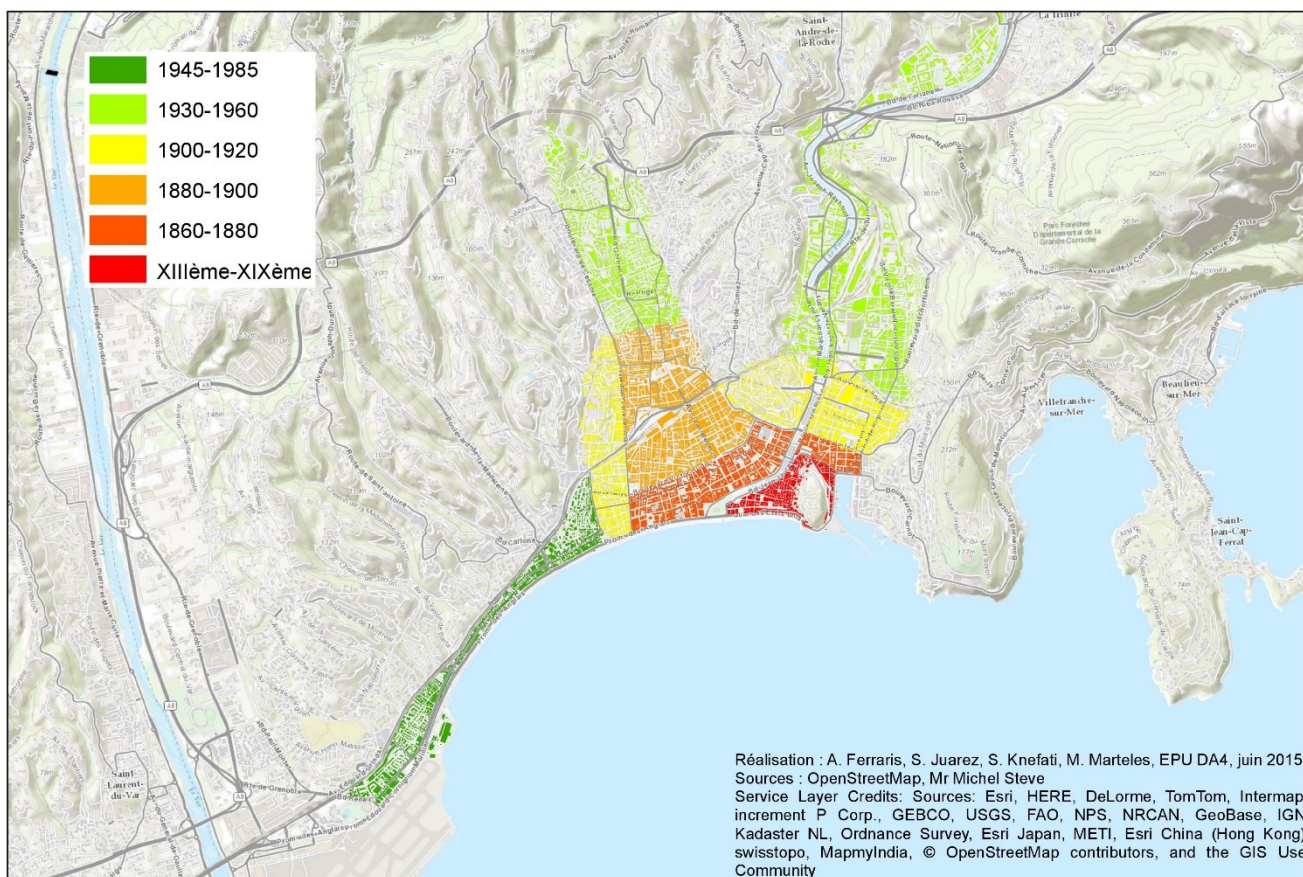


Illustration 3: Carte des différentes périodes de construction à Nice

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

¹ Architecte et Responsable du pôle Architecture-rénovation du Service des autorisations d'urbanisme et permis de construire

2) Le risque sismique dans les Alpes Maritimes

a. Une zone de sismicité moyenne

Le territoire national est divisé actuellement en cinq zones de sismicité croissante : très faible, faible, modérée, moyenne et forte. La ville de Nice et pratiquement l'ensemble du territoire des Alpes Maritimes se situent en zone de sismicité moyenne soit le niveau 4 sur une échelle de 5.

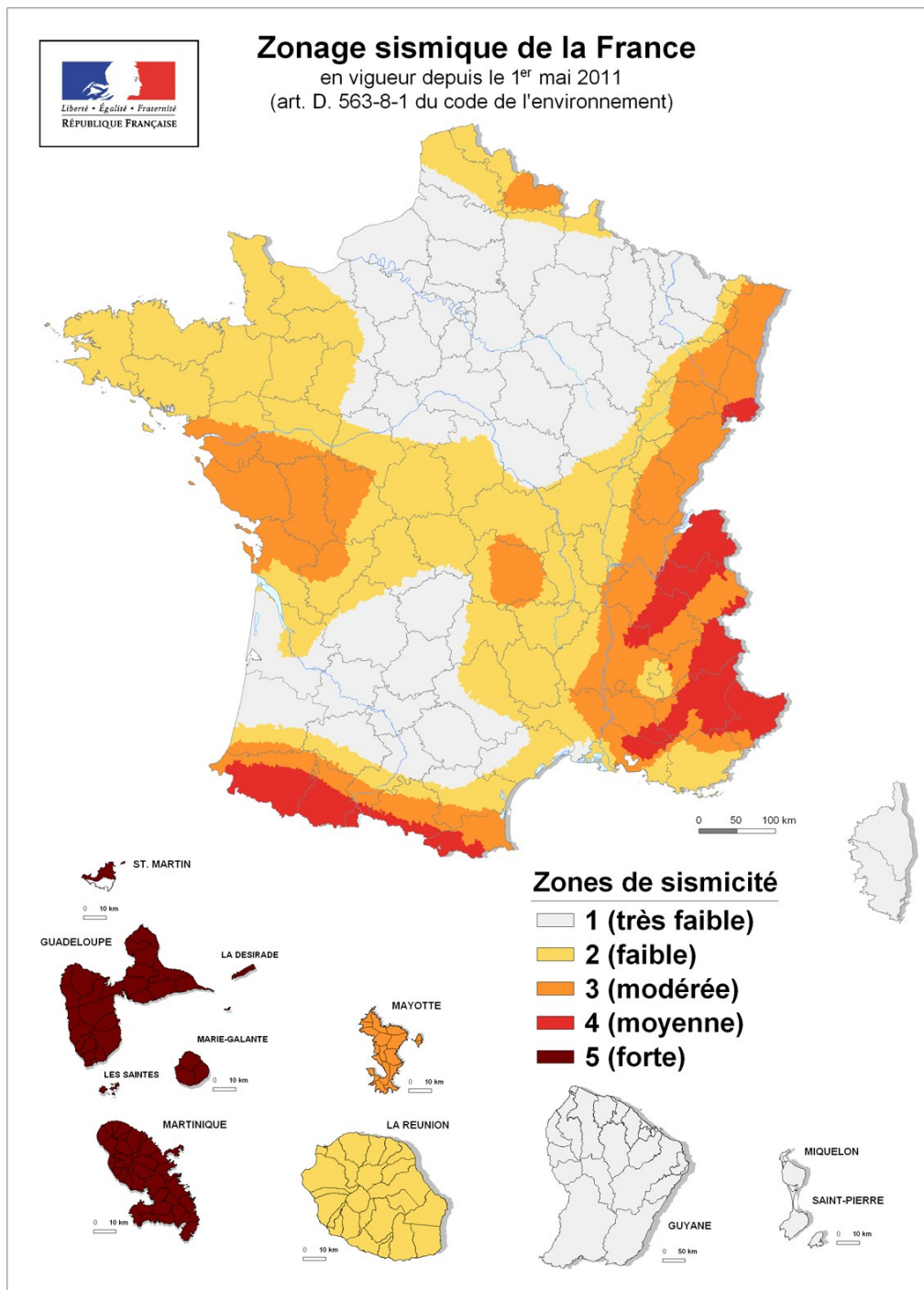


Illustration 4: Carte du zonage sismique de la France

Source : site planseisme.fr, consulté en mai 2015

Nice est établie sur les bords de la mer Méditerranée, dans la baie des Anges, à une trentaine de kilomètres de la frontière italienne, et constitue l'embouchure du Paillon. De ce fait, elle est concernée par plusieurs failles actives, notamment les failles décrochantes de Vésubie et Saint-Blaise-Aspremont (qui traverse la métropole du Nord au Sud), mais également par des failles plus lointaines comme le chevauchement Ligure et les failles plus au Nord. De par la localisation de ces failles, la ville de Nice peut être soumise à des tremblements de terre mais également à des tsunamis causés par l'activité sismique environnante. De plus, l'établissement d'une grande partie de la ville sur des zones alluvionnaires, notamment dans la partie Sud et le long des cours d'eau, augmente le risque. En effet, ces zones sont soumises à des effets de site, l'intensité d'un séisme peut alors être localement augmentée par ces effets et provoquent de plus grands dégâts.

La ville a déjà été marquée par deux séismes dans le passé : Vésubie en 1644 et Ligure en 1887. Le séisme de Vésubie s'est produit dans les terres au-dessus de Nice, à environ 50 km de la ville. De magnitude 5.7, il a eu lieu à 15 km de profondeur dans la vallée de la Vésubie et n'a fait que peu de dégâts sur Nice (qui ne comptait alors que 10 000 habitants, selon des estimations). Il a précédé quelques glissements de terrain dans la région. Le séisme de 1887 eut lieu sur la faille de Ligure, au large des côtes italiennes, à 25 km de profondeur. Cet événement, de magnitude 6.3, a causé peu de dommages à la ville de Nice. Le dernier séisme ressenti à Nice, d'une magnitude de moment de 4.8, date du 07 avril 2014. Son épicentre n'était pas dans les Alpes Maritimes mais dans les Alpes de Haute-Provence, au nord de Barcelonnette, soit à une centaine de kilomètres de distance. Même si aucun dégât n'est à signaler à Nice, il a toutefois été suffisamment ressenti à Nice pour que des habitants surpris sortent de leur domicile par peur de répliques. L'intensité macrosismique a atteint II à V, ce qui correspond à une perception faible à modérée.

b. Les précédents travaux sur le risque sismique dans la région

« Même si l'activité sismique dans la région de Nice peut être considérée comme moyenne, le risque correspondant ne peut être négligé »¹. C'est pourquoi de nombreuses études ont été effectuées en collaboration avec la ville de Nice afin de créer une « dynamique de prise en compte du risque sismique dans le développement urbain et l'aménagement régional »¹.

Ainsi, la ville de Nice apparaît comme ville pionnière et pilote en ce qui concerne la question du risque sismique en France, de par les enjeux qu'elle rassemble. En effet, depuis les années 1990, cette dernière, avec l'Etat et la Métropole Nice Côte d'Azur, a joué un rôle important dans de nombreux projets tels que GEMITIS (1993), GERIA (1999), RISK-UE(2004), GEMGEP (2005) et RATCOM (2007).

¹ P. Mouroux, B. Le Brun, S. Depinois, E. Bertrand, P. Masure, *Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice*, BRGM / RP-53202-FR, septembre 2004, 142 pages

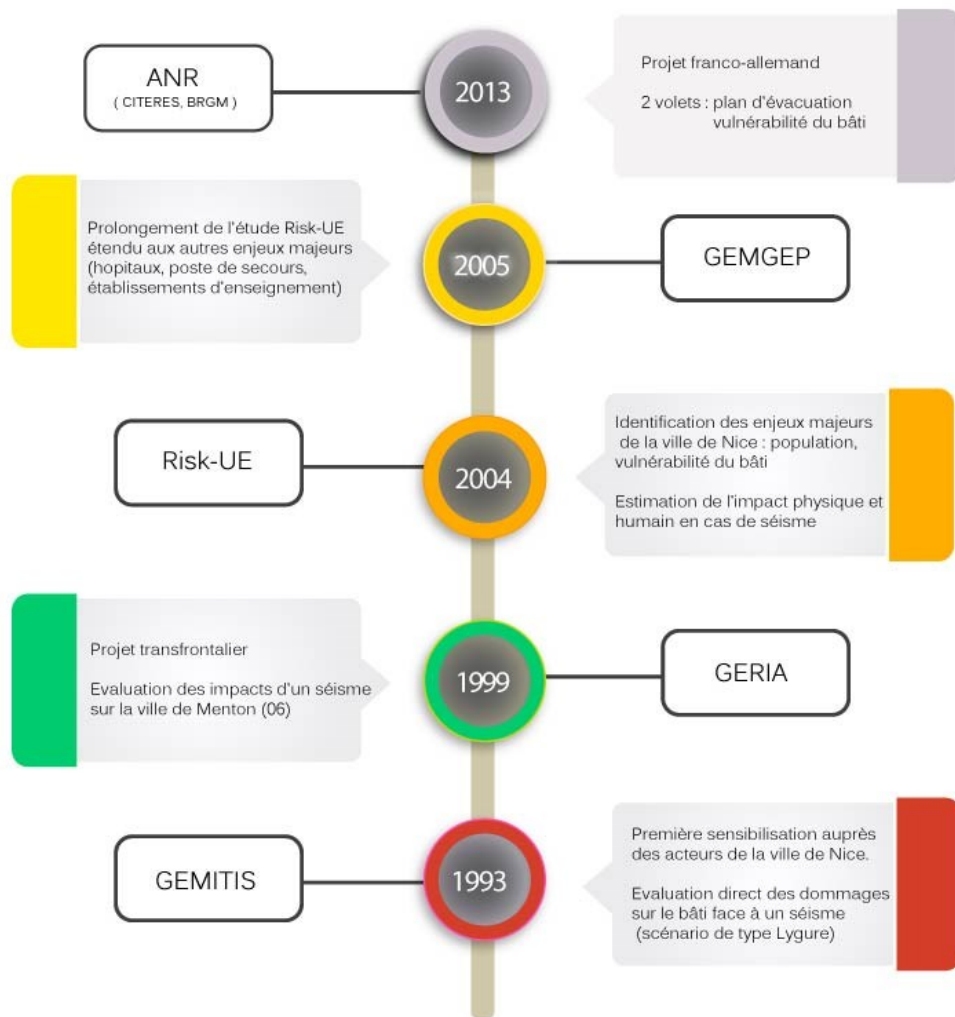


Illustration 5: Les différentes études sur le risque sismique à Nice

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Plusieurs travaux ont été réalisés sur le risque sismique concernant la ville de Nice et ses alentours. En 2000, le projet GERIA, un projet transfrontalier, s'est intéressé aux impacts d'un séisme sur la ville de Menton (06). De façon parallèle s'est développé le projet GEMETIS qui avait pour but d'évaluer les dommages directs sur le bâti de Nice en cas de séisme, et ainsi estimer les préjudices causés aux populations. Cette évaluation a été alors réalisée à partir d'un scénario de séisme de type Ligurie. Finalement, les résultats devaient permettre une sensibilisation des acteurs de la ville sur cette problématique qu'est le risque sismique.

Le projet européen RISK-UE, en 2004, a été développé et a continué de façon plus approfondie cette sensibilisation. Cette fois-ci, les acteurs devaient s'approprier « une approche engagée afin qu'ils puissent poursuivre une réflexion préventive dans un cadre adapté aux réalités locales »¹. En effet, le volet d'application sur la ville de Nice contenu dans le projet RISK-UE est sous la direction du BRGM. Après une analyse des conditions géologiques locales et de l'aléa sismique, le

¹ BRGM, *Document de présentation synthétique des principaux résultats des scénarios sismiques*, 2004

but est d'identifier et de définir avec les acteurs locaux les enjeux majeurs de la ville de Nice, plus particulièrement sur la population et le bâti. Comme pour GEMETIS, un séisme de référence a été retenu, permettant de réaliser une estimation de l'impact physique et humain en cas d'évènement sismique.

Sous la direction de l'Etat et de la ville de Nice, une étude plus complète est poursuivie à travers le programme GEMGEP (2005). Il reprend les mêmes scénarios que ceux de RISK-UE et permet finalement de connaître les mécanismes de mouvement des plaques dans la région niçoise. Le programme étend l'évaluation précédemment faite (sur les enjeux humains et de bâti) aux autres enjeux majeurs tels que les hôpitaux, les établissements d'enseignement ou encore les postes de secours.

Sa proximité avec plusieurs failles, sa densité, son urbanisation particulière causée notamment par le relief font de la ville de Nice un territoire d'étude privilégié concernant le risque sismique. Le caractère économique et la démographie de cette ville justifient la nécessité d'appréhender ces phénomènes naturels dans le but de mettre en place des plans d'action efficace.

II. État de l'art

L'étude et la compréhension des phénomènes naturels tel que les séismes se sont largement accrues au cours des dernières décennies afin de mieux prévenir ces dangers potentiels. Le corps politique s'est emparé de la question du risque et notamment de la question du risque des phénomènes naturels en milieu urbain, causant d'énormes pertes humaines et matérielles. Ceci a entraîné la recherche et la mise en place de méthodes d'évaluation du risque sismique. Nous nous intéressons ici uniquement à l'évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique et aux différentes méthodes d'évaluation mises en place à l'heure actuelle. Pour mieux comprendre et appréhender les différentes méthodes d'évaluation, il est important dans un premier temps de définir les termes.

1) Définitions générales

a. Le risque

Le phénomène sismique est en relation directe avec le déplacement des plaques lithosphériques. En effet, « la lithosphère est constituée de grandes plaques en mouvement (la plaque océanique et la plaque continentale), aux limites desquelles l'activité sismique est la plus intense. Les tremblements de terre sont provoqués par une rupture brutale le long d'un plan de faille. Cette rupture génère des ondes sismiques qui se propagent dans le sous-sol. La puissance d'un séisme est quantifiée par sa magnitude et les effets et dommages qu'il provoque sont caractérisés par l'intensité »¹.

Il est important de ne pas confondre magnitude et intensité. En effet, la magnitude d'un séisme est une caractéristique quantifiable. Il s'agit d'une unité (sans dimension) de mesure de l'énergie libérée au foyer d'un séisme. C'est une échelle logarithmique d'unité M allant de 0,1 à 9,5. Il existe de nombreuses échelles de magnitude selon différents types de séisme (Echelle de Richter en M_r , magnitude de moment M_w , magnitude de surface M_s , ...). L'intensité macrosismique d'un séisme est une valeur qualitative liée au ressenti des habitants. Il s'agit d'une échelle allant de 0 à 12 et indépendante de la magnitude. Un séisme profond pourra avoir une forte magnitude mais une intensité modérée.

Le risque sismique est « la conjonction d'un aléa sismique et d'une vulnérabilité des personnes, des biens et des activités sur ce site. La nature et la vulnérabilité des enjeux (économiques, patrimoniaux, sociaux...) sont primordiales pour l'évaluation du risque sismique »².

Le risque est donc compris comme la probabilité que la structure subisse des dommages sous l'action d'un aléa. En somme, il est lié à la notion de dégâts attendus.

On peut donc définir le risque comme étant la combinaison des enjeux exposés (avec une vulnérabilité associée) à un aléa :

¹ M. Castello, M. Bouchi-Lamontagne, *Le risque sismique en France*, Éditions BRGM, 2008, 64 pages.

² Glossaire, site www.planseisme.fr [mai 2015], www.planseisme.fr/spip.php?page=glossaire



b. L'enjeu

« L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Ils peuvent se hiérarchiser en fonction de leur importance avant, pendant et après une crise. Parmi les bâtiments et les infrastructures, on peut par exemple distinguer les bâtiments pouvant accueillir du public (écoles, salles de spectacle, etc.), ceux dont le rôle fonctionnel est primordial pour la protection civile (hôpitaux, casernes de pompiers, centres de crise, etc.) et identifier les réseaux nécessaires aux secours ou à la gestion de crise »¹.

Du fait que l'on s'intéresse à la vulnérabilité mécanique du bâtiment, et non pas à la population, le facteur enjeux ne sera pas pris en compte dans notre étude.

c. L'aléa

L'aléa sismique est défini comme « la possibilité pour une région ou un site d'être exposé à une secousse sismique de caractéristiques données, exprimées autant que possible sous forme de paramètres tels que : intensité macrosismique, accélération, vitesse, déplacement qui s'évalue au cours du temps ou pour une gamme de fréquences (spectre) »².

L'aléa fait donc référence à un phénomène naturel extrême qui peut causer des dommages. La sollicitation agissante est le paramètre résultant qui caractérise l'aléa.

L'aléa sismique à Nice a été évalué sur l'ensemble du territoire communal en tenant compte des conditions géologiques et topographiques susceptibles d'entraîner localement une amplification de la vibration sismique (effets de site), ou d'induire d'autres phénomènes naturels dangereux (effets induits, comme la liquéfaction des sols en zone alluvionnaires, les glissements de terrain ou encore les tsunamis). Il a pu être fait notamment grâce aux études RISK-UE et GEMGEP, réalisées en 2004 et 2005 par le BRGM et le CETE Méditerranée, qui ont permis de faire un microzonage sismique de la ville de Nice. Cinq types de sol ont été déterminés en fonction de leur épaisseur alluvionnaire (voir carte et diagramme ci-dessous). Le rocher S0 correspond à l'absence d'alluvions, et l'épaisseur de ces alluvions augmente entre S1 et S5.

¹ Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Direction Générale de la Prévention des Risques, *Collection prévention des risques naturels : les séismes*, éditions MEDDE, SG, DICOM, DIE, juillet 2012, 58 pages.

² M. Castello, M. Bouchi-Lamontagne, *Le risque sismique en France*, Éditions BRGM, 2008, 64 pages.

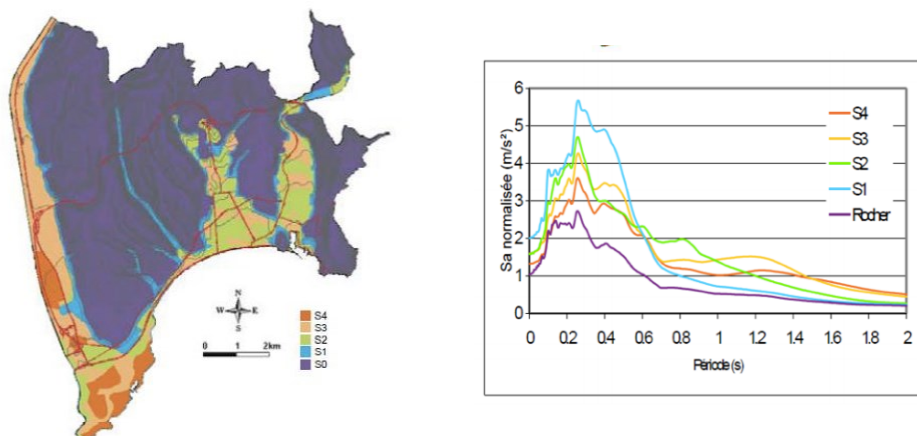


Illustration 6: Microzonage sismique de la ville, et spectres de réponses associés

Source : BRGM, rapport Risk-UE RP-53202-FR, septembre 2004

A la différence du risque sismique, l'aléa ne prend pas en compte les possibles pertes. Un aléa représente un danger, l'ampleur d'un phénomène et sa probabilité d'occurrence, sans prise en compte des conséquences matérielles et humaines. Mais les phénomènes induits et effets de sites font partie de cet aléa.

d. La vulnérabilité

La vulnérabilité du bâtiment peut être prise en compte de plusieurs façons et à plusieurs échelles, tout en fonction de l'objectif recherché. Il existe donc plusieurs définitions de la vulnérabilité en risques naturels.

« La vulnérabilité représente la fragilité d'un type d'enjeu (population, bâtiments, etc.) par rapport à un phénomène naturel d'une ampleur donnée. Différents types de vulnérabilité peuvent être distingués : la vulnérabilité structurelle des ouvrages ou des bâtiments, liée à leur conception et réalisation ; la vulnérabilité systémique, concernant un ensemble d'enjeux organisés en systèmes comme les infrastructures (réseaux routiers, de télécommunications...) et les centres de secours (hôpitaux, casernes...) ; la vulnérabilité individuelle, exprimant le niveau de développement d'une culture du risque chez les individus, etc. »¹.

En risque sismique, elle fait référence à la plus ou moins grande capacité d'un bâtiment à résister à l'agression pendant ou après un événement. La ville de Nice possède un bâti dense de formes et matériaux variés. Ce sont ceux-ci qui vont influencer sur la vulnérabilité structurelle.

La vulnérabilité n'est pas intrinsèque, elle correspond forcément à un aléa. Elle dépend donc des éléments exposés et de leur résistance. Elle est caractéristique d'un site à un moment donné. Ainsi, elle est modulable et évolutive en fonction de l'activité humaine.

¹ Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Direction Générale de la Prévention des Risques, *Collection prévention des risques naturels : les séismes*, éditions MEDDE, SG, DICOM, DIE, juillet 2012, 58 pages.

2) Les différentes méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la vulnérabilité du bâti, qui diffèrent en dépenses et en précision. Le type de méthode est choisi en fonction des objectifs de l'évaluation, mais aussi de la disponibilité des données et des moyens technologiques mis à disposition.

a. Les méthodes analytiques

Le premier grand type de méthode est dit « analytique », la vulnérabilité du bâtiment est calculée sur la base des informations structurales disponibles à l'aide de modèles numériques plus ou moins sophistiqués. Il existe deux familles de méthodes de calcul, les méthodes basées sur les forces (MBF), qui relèvent du calcul linéaire, et celles basées sur les déplacements (MBD), qui relèvent du calcul non-linéaire. Une des méthodes couramment utilisées est la méthode dite du « pushover », une méthode analytique mécanique basée sur le déplacement du bâtiment face à une force sismique. C'est une procédure statique non-linéaire dans laquelle la structure subit des charges latérales d'intensité croissante jusqu'à la destruction du bâtiment. Le but de l'analyse est de décrire le comportement réel de la structure et d'évaluer les différents paramètres en termes de sollicitations et déplacements dans les éléments de la structure. Elle permet d'évaluer la ductilité globale effective de la structure, en modélisant la ductilité de chaque élément de la structure (par exemple les colonnes). Les résultats sont représentés dans un premier temps sous forme de courbe qui relie l'effort tranchant la base en fonction du déplacement du sommet de la structure. Dans un second temps, cette courbe est transformée en courbe de capacité dont les composantes sont le spectre du déplacement (S_d) en abscisse et le spectre d'accélération (S_a) en ordonnée.

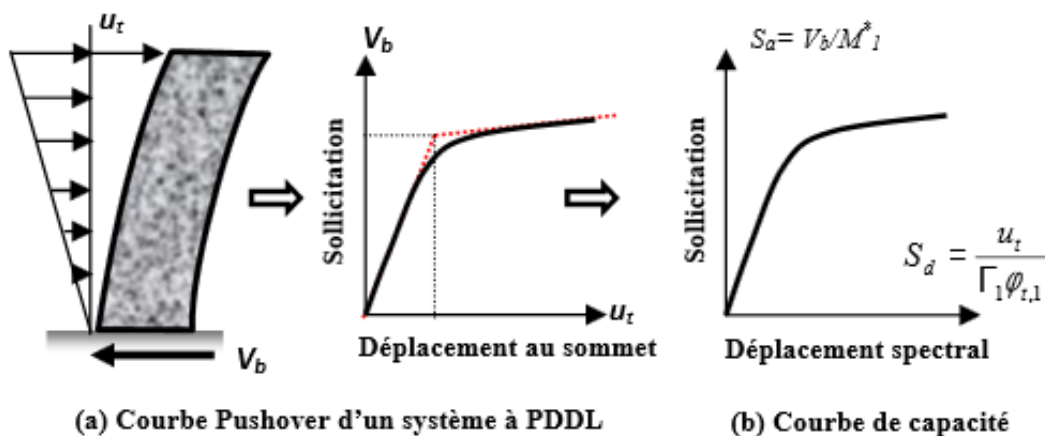


Illustration 7: Signification physique de la courbe Pushover

Source : M. Hemsas, S. M. Elachachi, Evaluation de la performance et analyse du comportement non linéaire des murs voiles en béton armé soumis à une action sismique, 2007

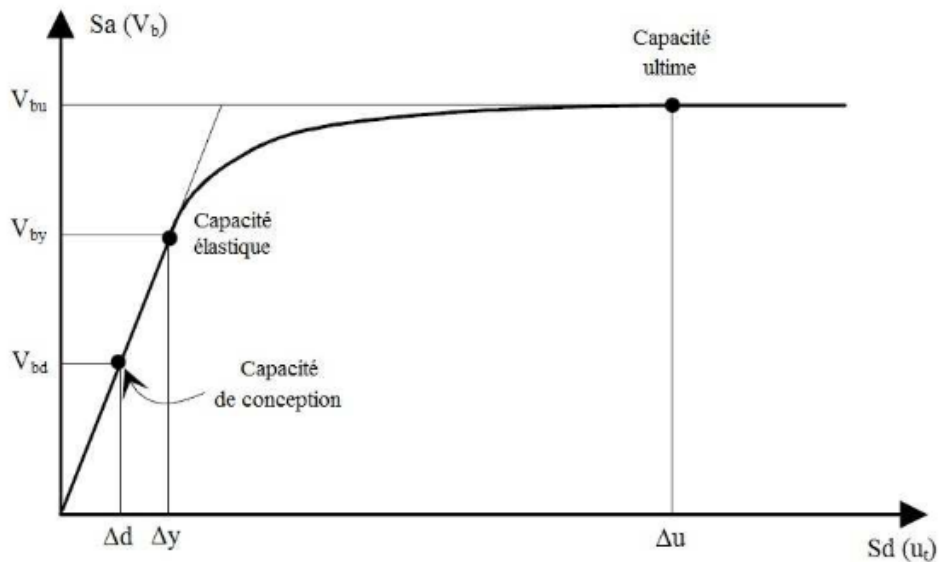


Illustration 8: Courbe de capacité type d'un bâtiment

Source : F. Duco, Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité sismique de bâtiments existants à partir d'une instrumentation in situ, 2012

La courbe type de capacité d'un bâtiment est caractérisée par trois points de contrôle : le point de capacité de conception, traduisant la résistance nominale, le point de capacité élastique, à partir duquel la structure se déforme, et enfin le point de capacité ultime, assimilé à la limite, à l'état de ruine (Illustration 8). Une courbe de vulnérabilité est ensuite obtenue à partir de la courbe de capacité et de celle représentant la demande sismique. Cette dernière reflète la répartition des niveaux d'accélération ou de déplacement provoquée par le séisme. Selon le contexte d'étude, il peut s'agir du spectre de réponse réglementaire tel que celui défini par l'Eurocode 8, ou d'un spectre de réponse réel issu d'un séisme particulier. Grâce à cette courbe, nous pouvons ensuite faire correspondre la réponse mécanique du bâtiment et les dommages probables (Illustration 9). Les réponses peuvent être généralisées grâce à l'obtention de courbes de fragilité (probabilité d'atteindre un niveau d'endommagement en fonction d'un paramètre donné).

Reinforced Concrete buildings



Masonry buildings

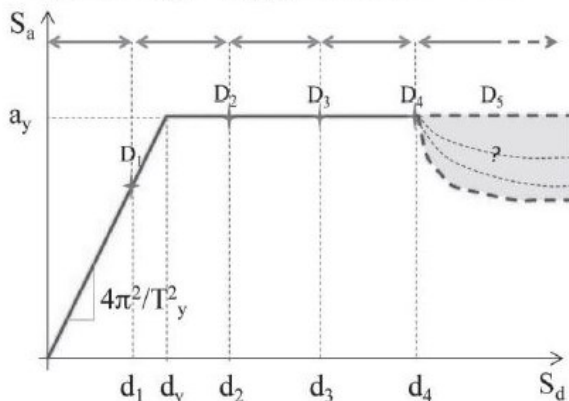


Illustration 9: Signification physique de la courbe Pushover

Source : M. Hemsas, S. M. Elachachi, Evaluation de la performance et analyse du comportement non linéaire des murs voiles en béton armé soumis à une action sismique, 2007

Ces méthodes reposent sur l'utilisation d'un seul paramètre pour représenter l'agression sismique dans l'évaluation de l'endommagement. Cependant il a été montré récemment que d'autres paramètres intervenaient dans le mouvement fort et pouvait influencer la réponse d'un bâtiment. Dans l'étude « Développement de surface de fragilité pour le bâtiment courant en maçonnerie », menée par le BRGM en octobre 2010, les chercheurs proposent de remplacer les courbes de fragilité par des surfaces de fragilité prenant en compte d'autres paramètres du mouvement fort. L'utilisation du code TREMURI et de ses modèles simples (Illustration 10), avec la prise en compte des comportements en cisaillement et en flexion lors d'analyses dynamiques, ont permis la construction de surfaces de fragilité pour chacune de ces familles de bâtiments, et pour chacun des niveaux de dommage EMS-98. Ces méthodes analytiques visent à décrire le comportement d'un bâtiment de manière très précise, elles s'appliquent donc à une échelle dite du bâtiment individuel mais servent par la suite à une représentation collective.

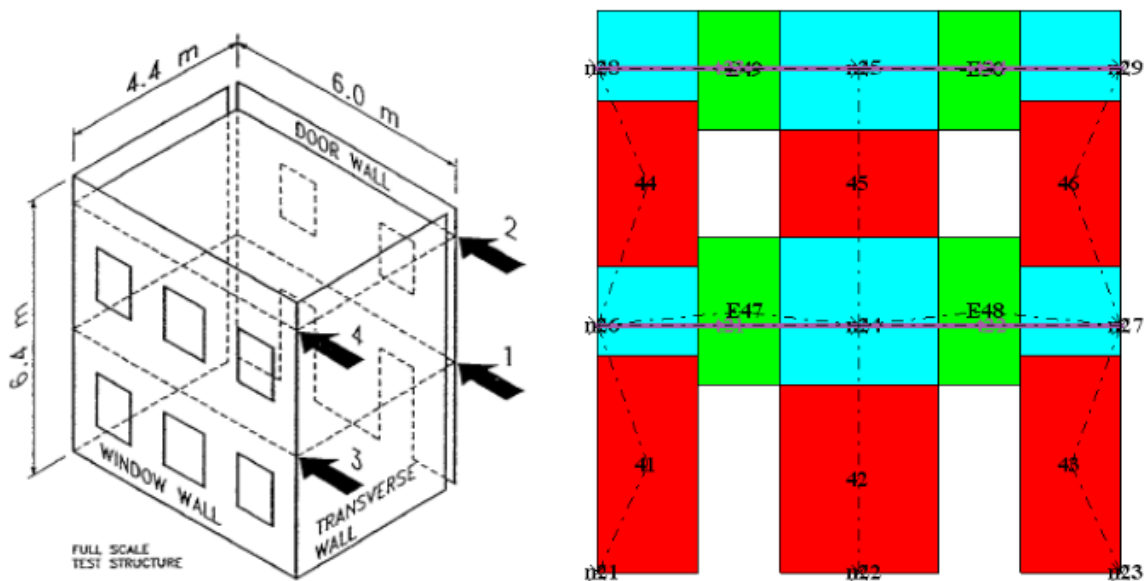


Illustration 10: Schéma du bâtiment expérimental et du modèle Tremuri

Source : BRGM, Développement de surface de fragilité pour le bâtiment courant en maçonnerie, octobre 2010

b. Les méthodes empiriques

Le second grand type de méthode est dit « **empirique** ». Cette méthode se base essentiellement sur des retours d'expérience, des observations faites sur le terrain après des séismes de grande ampleur et sur les caractéristiques structurales des bâtiments à partir d'inspections visuelles. A partir des observations recueillies après le séisme à San Fernando en 1971, des matrices de dommages possibles ont été créées selon le type de bâtiments. On a pu mettre en évidence également une relation entre le type de construction, la hauteur du bâtiment ainsi que l'intensité du séisme et des dommages résultant de cette intensité, suite aux données recueillis lors du séisme de 1985 au Chili.

Grâce à ces données, plusieurs pays (notamment à forte sismicité) ont développé des méthodes empiriques d'analyse de la vulnérabilité à l'échelle de la ville grâce à une approche statistique. Aux Etats-Unis, la méthode HAZUS a été initiée par la Federal Emergency Management

Agency (FEMA) en 1999. En Italie, il s'agit du Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNNDT). En 2001 débute la méthode Risk-UE dans le cadre d'un projet européen, et s'appliquera dans 7 grandes villes. Ces méthodes se fondent sur l'observation des caractéristiques structurales des bâtiments pour leur attribuer un indice de vulnérabilité. Différents niveaux de précision d'analyse sont généralement prévus, selon les informations disponibles qui conduisent à une qualité variable de l'estimation de la vulnérabilité. Ces méthodes proposent une relation reliant un indice de vulnérabilité à une échelle de dommage pour un mouvement sismique donné, un scénario probable ou un séisme historique, par exemple. Les paramètres pertinents, les coefficients qui leurs sont attribués dans le calcul de l'indice de vulnérabilité et le lien entre ce dernier et les dommages sont déterminés à partir du retour d'expérience effectué par des experts lors de missions post-sismiques. Les relations entre paramètres structuraux et dommages sont exprimées sous forme statistique et s'appliquent préférentiellement à l'échelle de la ville.

Dans les méthodes d'analyse de vulnérabilité à grande échelle, la donnée de base n'est pas le bâtiment mais le type. La première étape dans la construction d'une telle méthode est souvent la répartition des bâtiments dans différentes typologies. Les éléments qui permettent de séparer les différents types sont généralement :

- Le matériau de construction du système porteur (béton, maçonnerie, bois, acier...)
- Le système porteur (ossature, murs voiles pour le béton par exemple)
- La qualité de la construction (généralement liée à l'époque de construction).

En Europe, l'Echelle Macroscopique Européenne EMS-98 définit une échelle comprenant 15 typologies de bâtiments dont 7 en maçonnerie, 6 en béton armé, 1 en bois et 1 en acier ; dans le cadre du projet européen Risk-UE, l'échelle est plus détaillée et propose 23 typologies. Aux Etats-Unis, la FEMA a détaillé plus de 90 types de bâtiments. Dans les deux dernières méthodes évoquées, chaque type correspond à un type porteur et est subdivisé en trois catégories selon la hauteur du bâtiment :

- Bas : jusque 2 étages pour la maçonnerie, 3 pour le béton.
- Moyen : de 3 à 5 étages pour la maçonnerie, de 4 à 7 pour le béton.
- Haut : 6 étages et plus pour la maçonnerie, 8 étages et plus pour le béton.

Ces typologies sont donc simples mais englobent divers cas liés à la qualité des matériaux utilisés, du savoir-faire de chaque pays voire de sa région. Il est primordial de réaliser des échelles avec des typologies traduisant au mieux la réalité. Prenons l'exemple d'une étude menée aux Açores¹. Les chercheurs élaborent une typologie propre au territoire, présentée dans le tableau ci-dessous.

¹ F. Neves, A. Costa, R. Vicente, C. Sousa Oliviera, H. Varum, *Seismic vulnerability assessment and characterisation of the buildings on Faial Island, Azore*, mai 2011

Type	Vertical structure	Floor type	Roof type
Traditional construction	Stone masonry	Timber	Timber truss
Altered traditional building	Stone masonry	Reinforced concrete (slabs in kitchen or WC)	Timber truss
Current construction	Reinforced concrete	Reinforced concrete slabs	Reinforced concrete or Timber
Mixed construction 1	Stone masonry stone	Reinforced concrete slabs	Timber truss
Mixed construction 2	Reinforced concrete and stone masonry	Timber and reinforced concrete slabs	Timber truss
Mixed construction 3	Reinforced concrete	Reinforced concrete slabs	Reinforced concrete or Timber truss

Illustration 11: Élaboration d'une typologie propre aux Açores

Source : F. Neves, A. Costa, R. Vicente, C. Sousa Oliviera, H. Varum, Seismic vulnerability assessment and characterisation of the buildings on Faial Island, Azore, mai 2011

Dans le cadre du projet Risk-UE, la méthode dite « empirique » est basée sur des retours post-sismiques en Italie et en Grèce. Elle repose sur l'évaluation d'un indice de vulnérabilité pour un bâtiment donné, indice qui est fonction de sa typologie ainsi que de facteurs susceptibles de modifier son comportement, dits « facteurs aggravants ». L'indice de vulnérabilité du bâtiment V_i , est compris entre 0 (structure la moins vulnérable) et 1 (structure la plus vulnérable) et s'obtient en faisant la somme des indices suivants :

- V_i^* : fonction de la typologie du bâtiment
- ΔV_m : influence des facteurs aggravants
- ΔV_r : facteur de vulnérabilité régional
- ΔV_f : incertitude

De cet indice découlent des courbes de vulnérabilité traduisant l'état d'endommagement moyen du bâti. Elles relient l'agression sismique, exprimée en terme d'intensité macrosismique, à un indice de dommage moyen μD , qui permet de définir la distribution des dommages en fonction de l'intensité macrosismique définie par l'EMS-98 (Illustration 12). La distribution des probabilités d'endommagement est ensuite calculée par l'intermédiaire d'une loi de probabilité bêta dont les paramètres ont été calés d'après des observations réelles sur les dommages après différents séismes, essentiellement italiens et grecs. On obtient une matrice de probabilité de dommage pour un type de bâti. On peut ainsi estimer des courbes de fragilité pour chaque typologie de bâtiment, c'est-à-dire la probabilité d'atteindre un niveau d'endommagement en fonction d'un paramètre donné.

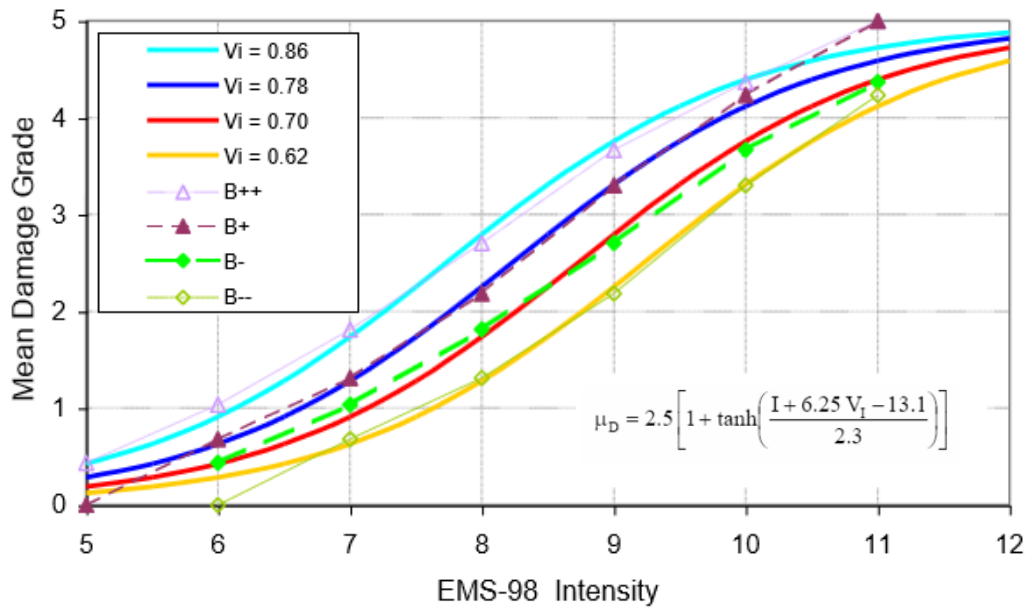


Illustration 12: Courbes de vulnérabilité

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Les méthodes les plus simples comme l'EMS-98 utilisent à la place d'un indice de vulnérabilité, des classes de vulnérabilité en nombre restreint (6 classes nommées de A, bâtiments les plus vulnérables, à F, bâtiments les plus résistants) (Illustration 13). La classe de vulnérabilité la plus probable et l'incertitude sont alors données pour chaque type.

Type de structure		Classe de vulnérabilité					
		A	B	C	D	E	F
MAÇONNERIE	Moellon brut, pierre tout venant	○					
	Brique crue (adobe)	○—					
	Pierre brute	┆...○					
	Pierre massive	┆—○...┆					
	Non renforcée, avec des éléments préfabriques	┆...○...┆					
	Non renforcée, avec des planchers en béton armé	┆—○...┆					
	Renforcée ou chaînée	┆...○—┆					
BÉTON ARMÉ	Ossature sans conception parasismique (CPS)	┆...—○...┆					
	Ossature avec un niveau moyen de CPS	┆...—○—┆					
	Ossature avec un bon niveau de CPS	┆...—○—┆					
	Murs sans CPS	┆...○—┆					
	Murs avec un niveau moyen de CPS	┆...—○—┆					
	Murs avec un bon niveau de CPS	┆...—○—┆					
ACIER	Structures en charpente métallique			┆...—○—┆			
BOIS	Structures en bois de charpente			┆...—○—┆			

○ Classe de vulnérabilité la plus probable; — Intervalle probable;
 ... Intervalle de probabilité plus faible, cas exceptionnels

Illustration 13: Les classes de dommages de l'EMS-98

Source : G. Grünthal, A. Levret, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie : l'Échelle Macrosismique Européenne EMS-98, 2001

L'ensemble de ces méthodes se poursuivent par l'évaluation du niveau de dommage. Il est défini de manière assez différente d'une méthode à une autre. L'EMS-98, qui sert de référence en Europe, compte 5 degrés :

- Degré DG 1 : dégâts négligeables à légers ;
- Degré DG 2 : dégâts modérés ;
- Degré DG 3 : dégâts sensibles à importants ;
- Degré DG 4 : dégâts très importants ;
- Degré DG 5 : effondrement partiel ou total.






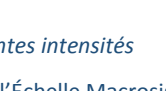

EMS-98 Intensité	Ressenti	Effets	Magnitude (Approximation)	Dégâts des bâtiments (Maçonnerie)
I	Non ressenti	Non ressenti	2	
II-III	Faible	Ressenti à l'intérieur des habitations par quelques personnes. Les personnes au repos ressentent une vibration ou un léger tremblement.	3	
IV	Léger	Ressenti à l'intérieur des habitations par de nombreuses personnes, à l'extérieur par très peu. Quelques personnes sont réveillées. Les fenêtres, les portes et la vaisselle vibrent.	4	
V	Modéré	Ressenti à l'intérieur des habitations par la plupart, à l'extérieur par quelques personnes. De nombreux dormeurs se réveillent. Quelques personnes sont effrayées. Les bâtiments tremblent dans leur ensemble. Les objets suspendus se balancent fortement. Les petits objets sont déplacés. Les portes et les fenêtres s'ouvrent ou se ferment.	5	
VI	Fort	De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Chute d'objets. De nombreuses maisons subissent des dégâts non structuraux comme de très fines fissures et des chutes de petits morceaux de plâtre.	6	
VII	Très fort	La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Les meubles se déplacent et beaucoup d'objets tombent des étagères. De nombreuses maisons ordinaires bien construites subissent des dégâts modérés: petites fissures dans les murs, chutes de plâtres, chutes de parties de cheminées; des bâtiments plus anciens peuvent présenter de larges fissures dans les murs et la défaillance des cloisons de remplissage.	7	
VIII	Violent	De nombreuses personnes éprouvent des difficultés à rester debout. Beaucoup de maisons ont de larges fissures dans les murs. Quelques bâtiments ordinaires bien construits présentent des défaillances sérieuses des murs, tandis que des structures anciennes peu solides peuvent s'écrouler.	8	
IX	Très violent	Panique générale. De nombreuses constructions peu solides s'écroulent. Même des bâtiments bien construits présentent des dégâts très importants: défaillances sérieuses des murs et effondrement structural partiel.	9	
X+	Extrême	La plupart des bâtiments bien construits s'effondrent, même ceux ayant une bonne conception parasismique sont détruits.	10	

Illustration 14: Effets d'un séisme sur un bâtiment en maçonnerie, en fonction de différentes intensités

Source : G. Grünthal, A. Levret, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie : l'Échelle Macrosismique Européenne EMS-98, 2001

Le dommage peut être évalué statistiquement à partir de l'indice de vulnérabilité pour différentes intensités macrosismiques. Les matrices qui permettent cette évaluation sont appelées « matrices de probabilité de dommage (DPM) » et ont été déterminées à partir des relevés post-sismiques.

Dans l'étude menée dans les Açores, les chercheurs se sont basés sur cette méthodologie et calculent ainsi un indice de vulnérabilité afin d'évaluer les dommages possibles. Cependant, la construction de la formule permettant le calcul de l'indice diffère. Pour chaque bâtiment est calculé un indice considérant 14 paramètres¹, eux même découpés en 4 classes c_{iv} (A, B, C, D) traduisant un

¹ F. Neves, A. Costa, R. Vicente, C. Sousa Oliviera, H. Varum, *Seismic vulnerability assessment and characterisation of the buildings on Faial Island, Azore*, mai 2011

degré de vulnérabilité. Chaque paramètre est pondéré d'un facteur p_i compris entre 0,5 (paramètre moins influent) et 3 (paramètre plus influent). Ainsi l'indice de vulnérabilité peut varier entre 0 et 100 (structure la plus vulnérable) (Illustration 15). L'indice est ensuite traduit en dommage à partir de l'intensité macrosismique définie par EMS-98, comme dans l'étude Risk-UE.

Parameters	Class C_{vi}				Weight p_i	Vulnerability index	
	A	B	C	D			
1. Structural building system						$I_v^* = \sum_{i=1}^{14} C_{vi} \times p_i$	
P1	Type of resisting system	0	5	20	50		1.50
P2	Quality of the resisting system	0	5	20	50		2.00
P3	Conventional strength	0	5	20	50		3.00
P4	Maximum distance between walls	0	5	20	50		0.50
P5	Number of floors	0	5	20	50		1.50
P6	Location and soil conditions	0	5	20	50	0.75	
2. Irregularities and interaction						$0 < I_v^* \leq 812.5$	
P7	Aggregate position and interaction	0	5	20	50		1.50
P8	Plan configuration	0	5	20	50		0.75
P9	Regularity in height	0	5	20	50		0.75
P10	Wall facade openings and alignment	0	5	20	50	0.50	
3. Floor slabs and roofs						$0 < I_v^* \leq 812.5$	
P11	Horizontal diaphragms	0	5	20	50		1.00
P12	Roofing system	0	5	20	50	1.00	
4. Conservation status and other elements						Normalized index $0 \leq I_v \leq 100$	
P13	Fragilities and conservation state	0	5	20	50		1.00
P14	Non-structural elements	0	5	20	50		0.50

Illustration 15 : Parameters and weights to evaluate the vulnerability index of the Azores Islands' building stock

Source : F. Neves, A. Costa, R. Vicente, C. Sousa Oliviera, H. Varum, *Seismic vulnerability assessment and characterisation of the buildings on Faial Island, Azore, mai 2011*

Les méthodes conduisant aux calculs d'un indice de vulnérabilité permettent de hiérarchiser la vulnérabilité de bâtiment dans le cas d'analyse d'un groupe de bâtiments (études d'une ville ou d'un quartier) ainsi qu'une répartition des probabilités de dommages des typologies de bâtiment sur l'échelle d'une ville en cas de séisme. On peut ainsi visualiser des zones d'endommagement. L'avantage majeur est l'élaboration de critères d'aides à la décision sur les priorités d'études approfondies ou de renforcement du bâti existant ainsi qu'une idée du comportement de chaque bâtiment en cas de séisme.

Concernant la méthode Hazus portée par la FEMA en 2003, elle repose également sur la définition de typologie ainsi que de dommage (au nombre de 4 : « léger », « modéré », « important », « ruine »). Les dommages sont définis en termes de déformation inter-étage, représentant la différence de déplacement horizontal entre deux planchers successif. Cette méthode ne repose donc pas sur la construction d'un indice de vulnérabilité mais sur un déplacement (approche

mécanique). C'est à travers une méthode analytique que la probabilité de dommage a été calculée pour chaque bâtiment. L'objectif est alors de fournir des courbes de fragilité correspondantes à une typologie de bâtiments, et pour plusieurs niveaux de dommages.

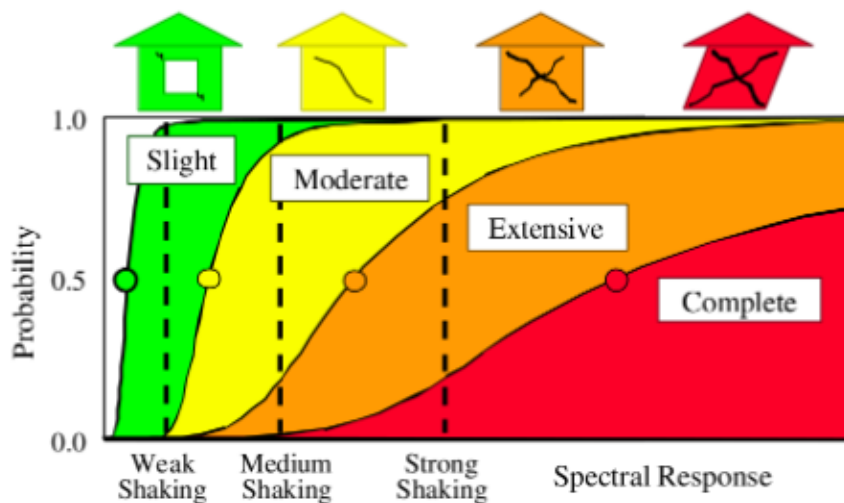


Illustration 16: Exemple de courbes de fragilité pour chaque niveau d'endommagement

Source : Department of Homeland Security, Federal Emergency management Agency, Hazus –MH MR5 : Advanced Engineering Building Module, 2001

Il existe donc un grand nombre de méthodes d'évaluation mises en place au cours du siècle dernier. Les modèles analytiques se veulent toujours plus précis, intégrant de plus en plus de paramètres pertinents mais ne s'appliquent généralement que sur un seul bâtiment ou un petit agrégat. Parallèlement, les pouvoirs publics se sont emparés du problème des séismes en milieu urbain et de la notion du « risque sismique ». Ils privilégient alors des méthodes de représentation à grande échelle, l'échelle urbaine. La question de l'échelle joue donc un rôle primordial dans l'élaboration de ces méthodes.

3) Les échelles d'évaluation de la vulnérabilité et leur représentation

Pour évaluer la vulnérabilité du bâti au sein d'un territoire, on peut se référer à plusieurs échelles, ayant chacune des méthodologies d'évaluation différentes. Ainsi, on distingue trois échelles, allant de l'échelle urbaine à celle du bâtiment individuel, pour une évaluation plus précise. Il est alors nécessaire de choisir l'échelle d'étude la plus appropriée en fonction des outils technologiques, des moyens financiers à disposition ainsi que des avantages et inconvénients de chacune des méthodes d'évaluation.

a. L'échelle urbaine

L'évaluation de la vulnérabilité des bâtiments en cas de risque sismique permet non seulement de connaître le degré d'endommagement d'une structure mais permet aussi aux autorités locales d'avoir une meilleure appréhension de leur territoire afin d'adapter leurs actions de prévention. Pour être plus efficace, l'initiative d'évaluation de la vulnérabilité doit être mise en place à l'échelle urbaine et doit non seulement prendre en compte les bâtiments mais aussi les équipements urbains, la voirie, les réseaux de transport...

Concernant uniquement la partie d'évaluation du bâti au sein d'un territoire, celle-ci ne pouvant pas se faire au cas par cas de par le volume de bâtiments à étudier, le territoire est alors découpé en « zones homogènes ». Il s'agit d'un regroupement d'îlots de bâtiments présentant des caractéristiques communes. Ils sont généralement de la même époque et de mode de construction similaire.

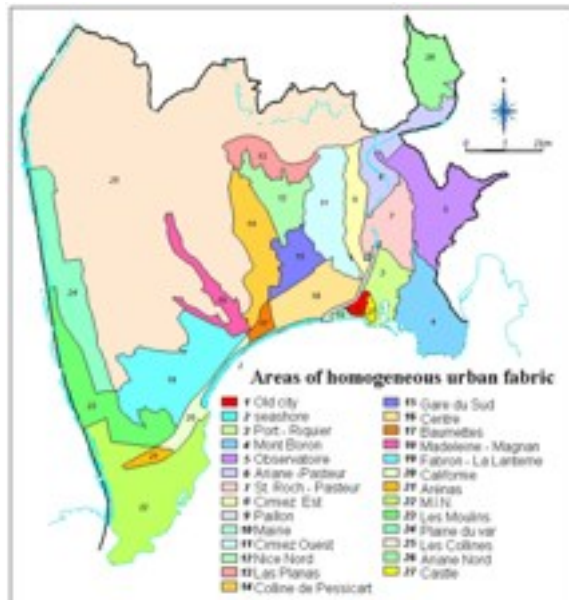


Illustration 17: Carte des unités urbaines de Nice

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

A chaque « zone homogène » est associée une typologie qui permettra de définir les zones les plus vulnérables en leur affectant un degré de dommage, fonction de l'intensité du séisme.

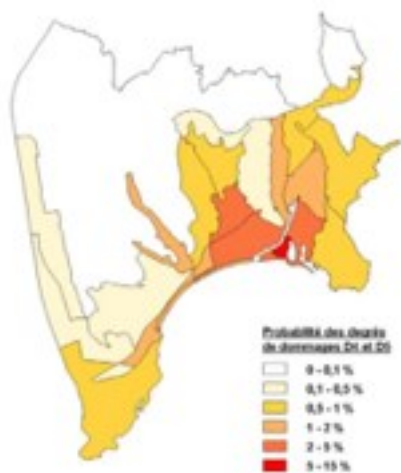


Illustration 19: Carte de l'évaluation des probabilités de dommages D4 et D5 pour un séisme de scénario type 1887, relocalisé à 30 km de la ville

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

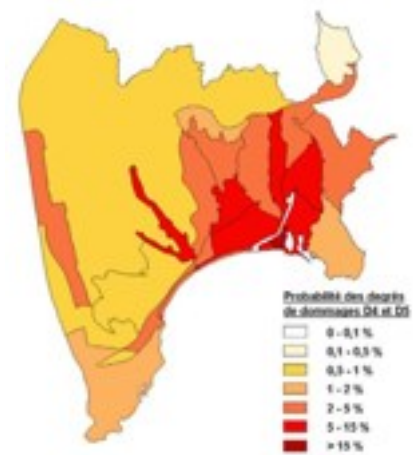


Illustration 18: Carte de l'évaluation des probabilités de dommages D4 et D5 pour un séisme de scénario probabiliste à 475 ans de période de retour

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Les degrés de dommages affectés à chacune des zones homogènes à l'échelle urbaine permettent de donner à la fois des critères d'aide à la décision sur les priorités d'études approfondies ou de renforcement du bâti existant à mener, mais surtout de déterminer les secteurs les plus vulnérables en cas de séisme. Cependant, à cette échelle, nous obtenons un résultat global, pouvant s'avérer inexact s'il est appliqué à un seul bâtiment (l'objectif ici est d'obtenir une estimation fiable à l'échelle de la zone étudiée et non à celle d'un bâtiment).

b. L'échelle de l'agrégat

A l'intersection entre l'échelle urbaine et celle du bâtiment individuel, nous pouvons définir une échelle intermédiaire, l'agrégat, qui est constitué par un « ensemble de bâtiments maçonnés agrégés suite à un processus de construction diachronique »¹ (propre aux centres anciens). Ces agrégats sont composés par des bâtiments hétérogènes en termes de matériaux de construction et/ou de formes. Ainsi, les interactions qui peuvent exister entre les différents bâtiments d'un agrégat sont déterminantes en ce qui concerne la réponse structurale en cas de séisme. Cette démarche macroscopique nécessite alors de considérer à la fois les propriétés structurales et mécaniques de chaque bâtiment ainsi que celles de son environnement immédiat, en se basant sur des caractéristiques telles que la structure topologique, la qualité des maçonneries, la hauteur relative entre les bâtiments, la nature des connexions entre les différents bâtiments de l'agrégat ou encore les différences d'alignements entre les planchers et les ouvertures entre les bâtiments.



Illustration 21: Processus de construction d'un bâtiment

Source : T. Ferreira, R. Vicente, H. Varum, *Vulnerability assessment of building aggregates: A macroseismic approach*, 2012



Illustration 20: Situation d'un bâtiment au sein de son îlot

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

c. L'échelle du bâtiment

Une dernière échelle d'évaluation, l'approche microscopique, vise quant à elle à considérer le bâtiment individuellement pour évaluer précisément la réponse structurale en cas de séisme. Cette approche mécanique est modélisée par la courbe de capacité du bâtiment en fonction de sa typologie, de sa hauteur et du niveau de code parasismique correspondant à sa période de construction (cf. I.b). Cette échelle d'étude est considérée comme la plus précise. Néanmoins, ce type d'évaluation ne peut être généralisé à tous les bâtiments d'une zone urbaine de par l'importance des moyens financiers, technologiques et humains à mettre en œuvre.

¹ T. Ferreira, R. Vicente, H. Varum, *Vulnerability assessment of building aggregates: A macroseismic approach*, 2012

4) Pourquoi l'évaluation de la vulnérabilité du bâti est-elle complexe ?

L'évaluation de la vulnérabilité du bâti permet d'identifier les dommages probables dans une ville suite à un tremblement de terre afin que les pouvoirs publics puissent s'accorder sur les moyens de secours à mettre en place. A l'échelle d'un territoire au sein duquel l'aléa sismique est important, réaliser une évaluation sur la vulnérabilité du bâti est indispensable pour estimer l'ampleur du risque auquel il peut être confronté.

Cependant, cette évaluation reste au jour d'aujourd'hui très complexe. En effet, ce type de diagnostic étant souvent réalisé à l'échelle d'une ville ou d'une région, il est nécessaire d'évaluer un très grand nombre de bâtiments, ce qui implique de déployer des moyens humains et technologiques très importants, avec parallèlement des ressources financières limitées. De plus, ce diagnostic est complexifié par une variété importante de types de structures dont les matériaux de construction peuvent, eux aussi, être très divers. Le choix d'effectuer un diagnostic à l'échelle urbaine peut alors s'avérer très délicat.

La méthodologie d'évaluation d'un bâtiment individuel, bien qu'étant la plus précise, se confronte cependant à des difficultés sur le plan pratique. En effet, l'accès aux données concernant les bâtiments existants tels que les plans cadastraux, les schémas du système porteur ou encore les caractéristiques des matériaux utilisés est difficile, mais reste indispensable pour une évaluation individuelle. Il n'est donc pas toujours possible d'étudier la réponse structurale d'un bâtiment individuel ou d'un bâtiment agrégé.

	<i>moyens mis en oeuvre</i>					
Échelle d'analyse	Urbaine (plusieurs centaines de bâtiments)		Agrégat (quelques bâtiments)		Bâtiments individuels	
Méthodes	Vulnérabilité EMS-98	Indices de vulnérabilité	Avis des experts	Mesures et essais	Calculs analytiques simples	Analyse numérique modélisation
	RISK UE					
Applicabilité	Communauté d'agglomération - Commune - Quartiers - Îlots - Bâtiment individuel					

Illustration 22: Synthèse des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti en fonction des échelles d'étude et des moyens mis en oeuvre

Source : Gueguen P., Laboratoire de Géophysique interne et Technophysique de Grenoble, Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant.

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

III. Méthode d'évaluation proposée

La méthode mise en place dans ce stage est commune à celle utilisée dans une thèse dépendante de l'ANR. Elle vise à étudier la vulnérabilité du bâti de Nice. Sa différence avec les autres méthodes vues précédemment est le mélange des échelles : nous étudions les bâtiments un par un en tenant compte de leurs voisins.

La première partie consiste en une caractérisation du bâti à Nice. Celle-ci passe par la prise en compte de cinq critères sur le bâtiment : la période de construction, la position du bâtiment au sein de l'agregat, la connexion inter-bâtiment, la hauteur du bâtiment, la hauteur relative.

1) Les critères de caractérisation des bâtiments

La **période de construction**. Elle peut être déterminée grâce aux matériaux de construction des bâtiments, aux plans disponibles aux archives, à des éléments architecturaux ou à la localisation dans la ville de Nice. Ce critère est intrinsèquement lié aux matériaux utilisés (par exemple, le béton n'est apparu qu'à la fin des années 1960). Le rôle de ceux-ci dans la résistance d'un bâtiment en cas de séisme est très fort. On peut notamment citer ici l'étude EMS-98, qui a attribué un indice de vulnérabilité à chaque type de construction, pour justifier du lien entre période de construction et vulnérabilité.

La **hauteur du bâtiment**. Exprimée en mètres, elle influe considérablement sur la vulnérabilité du bâtiment en cas de séisme. Dans nos mesures, elle est le résultat de la multiplication du nombre de niveaux par leur hauteur, fixée à 2,5 m. Il est aussi possible de classer les bâtiments en catégories de hauteur : low-rise (0-12 m), mid-rise(12-25 m) et high-rise(> 25m).

La **connexion inter-bâtiments**. Elle peut être complète, indépendante ou joint parasismique. Une connexion indépendante signifie que le bâtiment n'est collé à aucun autre. Si elle est complète, c'est qu'au moins une des façades est collée à un autre bâtiment. Un joint parasismique est un espace très fin entre deux bâtiments, qui permet d'avoir deux bâtiments séparément moins vulnérables plutôt qu'un tout qui accumule des failles face au séisme. Le joint parasismique est très peu présent à Nice (6 bâtiments), et nous n'en étudierons pas.

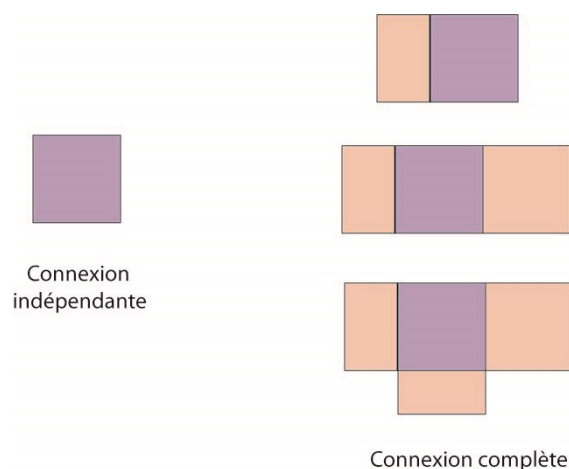


Illustration 23: Les types de connexion d'un bâtiment

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Ce critère est important dans cette méthode pour intégrer la prise en compte de l'agrégat dans l'étude du bâtiment. Il est aussi très lié à la vulnérabilité du bâti car une connexion complète peut apporter de la résistance au bâtiment qui se « repose » sur son voisin. Ce n'est pas toujours le cas cependant, car si par exemple un bâtiment récent avec joint de dilatation est collé à un bâtiment ancien, il peut y avoir un entrechoquage.

La **position du bâtiment** au sein de l'agrégat. Ce critère peut prendre trois valeurs : milieu, angle et tête d'îlot. Il n'est valable que dans le cas où le bâtiment a une connexion complète, et intègre lui aussi l'agrégat dans l'étude.

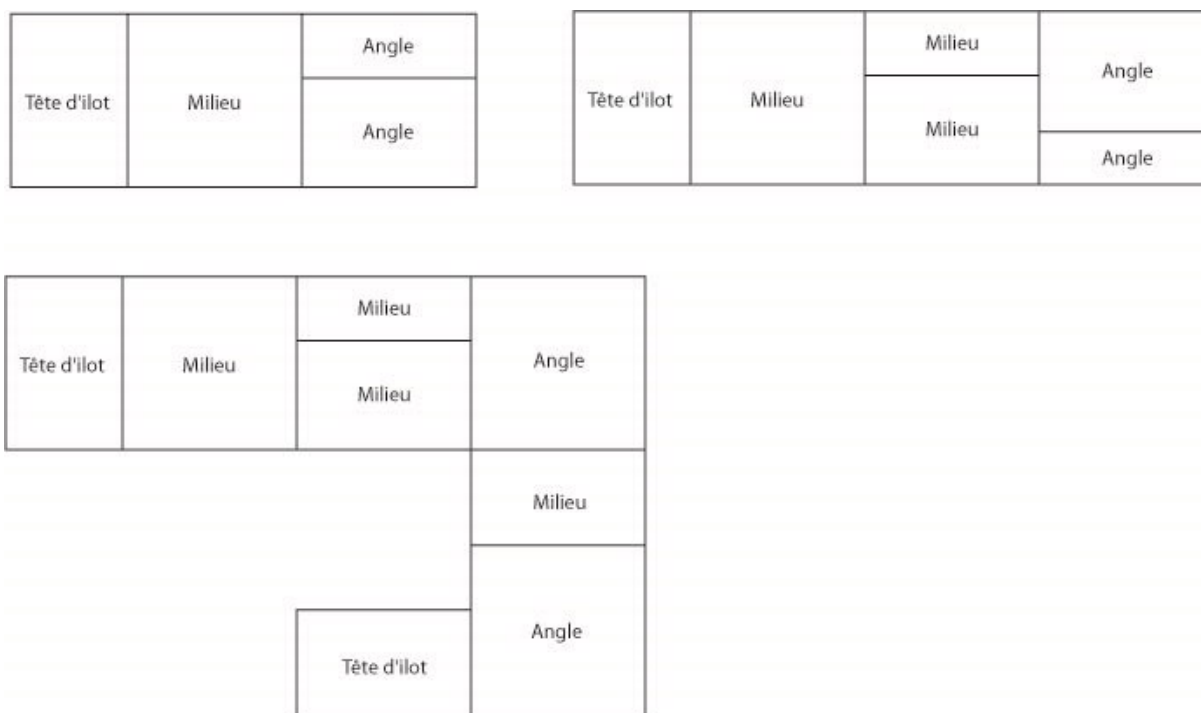


Illustration 24: Position d'un bâtiment dans son agrégat

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

L'effet de cette position sur la vulnérabilité du bâtiment est donné via un indice de vulnérabilité dans l'étude Risk UE. Un bâtiment est moins vulnérable quand il est au milieu, et il est plus vulnérable en étant en tête d'îlot. La position en angle le rend plus vulnérable, mais moins qu'en tête d'îlot. Ceci s'explique par deux phénomènes. Tout d'abord, les extrémités d'un bâtiment en longueur sont plus fragiles que le reste. Ce sont donc les parties en angle et tête d'îlot qui subissent le plus. Aussi, une irrégularité de constructions (en matériaux différents notamment) rend tout l'agrégat plus vulnérable. Or, un bâtiment coincé entre deux autres est soutenu, ce sont donc les bords qui tombent (comme vu précédemment ce n'est pas toujours le cas, mais cela reste généralement vrai).

La **hauteur relative**, ou irrégularité en élévation. Cette donnée n'est valable que pour les bâtiments en connexion complète, et intègre aussi l'agrégat dans l'étude. C'est une mesure de différence de hauteur entre deux bâtiments voisins, exprimée en mètres. Elle peut être un excès (l'autre bâtiment est plus haut) ou un retrait (le voisin est plus bas). Elle est aussi à prendre en

compte lorsqu'il y a plusieurs voisins. Dans ce cas-là, quand il y a deux hauteurs relatives, nous prenons la valeur la plus désavantageuse, c'est-à-dire la plus grande.

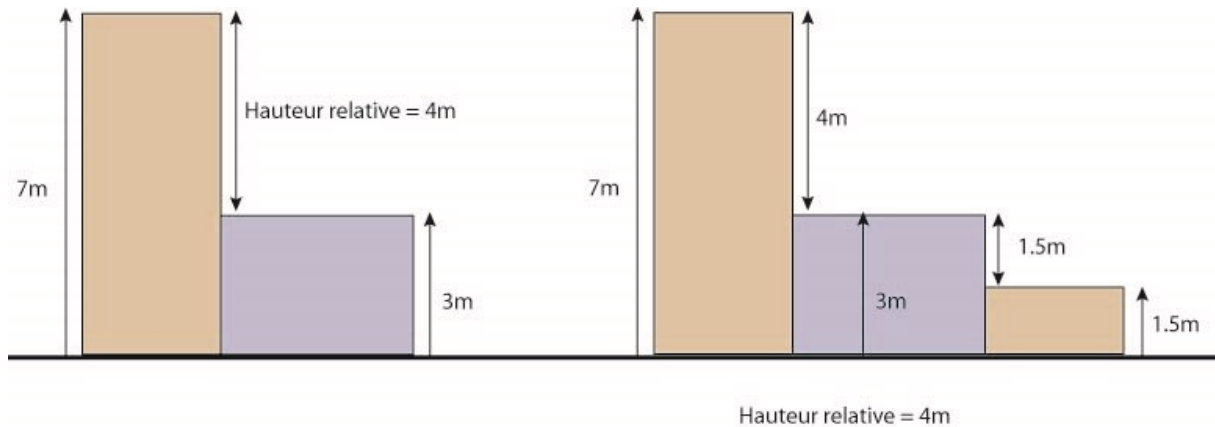


Illustration 25: Hauteur relative d'un bâtiment

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

2) L'échantillonnage

Dans la suite de notre travail, nous avons besoin d'un échantillon représentatif de la ville de Nice selon les cinq critères présentés précédemment. Un échantillon est une partie de la population (ici l'ensemble des bâtiments de la ville), sélectionné aléatoirement ou non aléatoirement, que l'on étudie ultérieurement. Nous faisons un échantillon afin de tester notre méthode ultérieurement.

Nous allons faire ici un échantillonnage aléatoire. Il en existe plusieurs types : simple, systématique, stratifié, avec une probabilité proportionnelle à la taille, en grappe, à plusieurs degrés, à plusieurs phases.

Nous choisissons pour notre travail de faire un échantillonnage aléatoire stratifié. Ce dernier consiste d'abord à diviser la population selon des strates. Ces strates sont nos critères. Par exemple, nous divisons la population en deux strates : les bâtiments en connexion complète et les bâtiments indépendants. La seconde étape est la sélection d'individus dans les strates. Nous réalisons celle-ci grâce à un échantillonnage aléatoire simple. Le nombre d'éléments à choisir dans chaque strate est déterminé en fonction de la proportion de chaque strate sur la population. Par exemple, s'il y a 60% de bâtiments en connexion complète sur toute la ville et donc 40% de bâtiments indépendants, il faut qu'il y ait dans l'échantillon final 60% de bâtiments à connexion complète et 40% de bâtiments indépendants. L'opération est répétée pour chaque critère, et l'échantillon final doit respecter la règle pour chaque critère.

La taille de l'échantillon est au choix du statisticien. Elle dépend notamment des moyens budgétaires, des contraintes de temps et de la précision nécessaire. Nous avons choisi dans ce modèle un échantillon de 90 bâtiments, qui respecte une erreur de 5% dans la stratification.

3) Deux approches mises en place

Nous avons décidé de suivre deux approches différentes en parallèle pour étudier la vulnérabilité du bâti.

Il y a cependant un travail à réaliser au préalable, utile pour les deux méthodes.

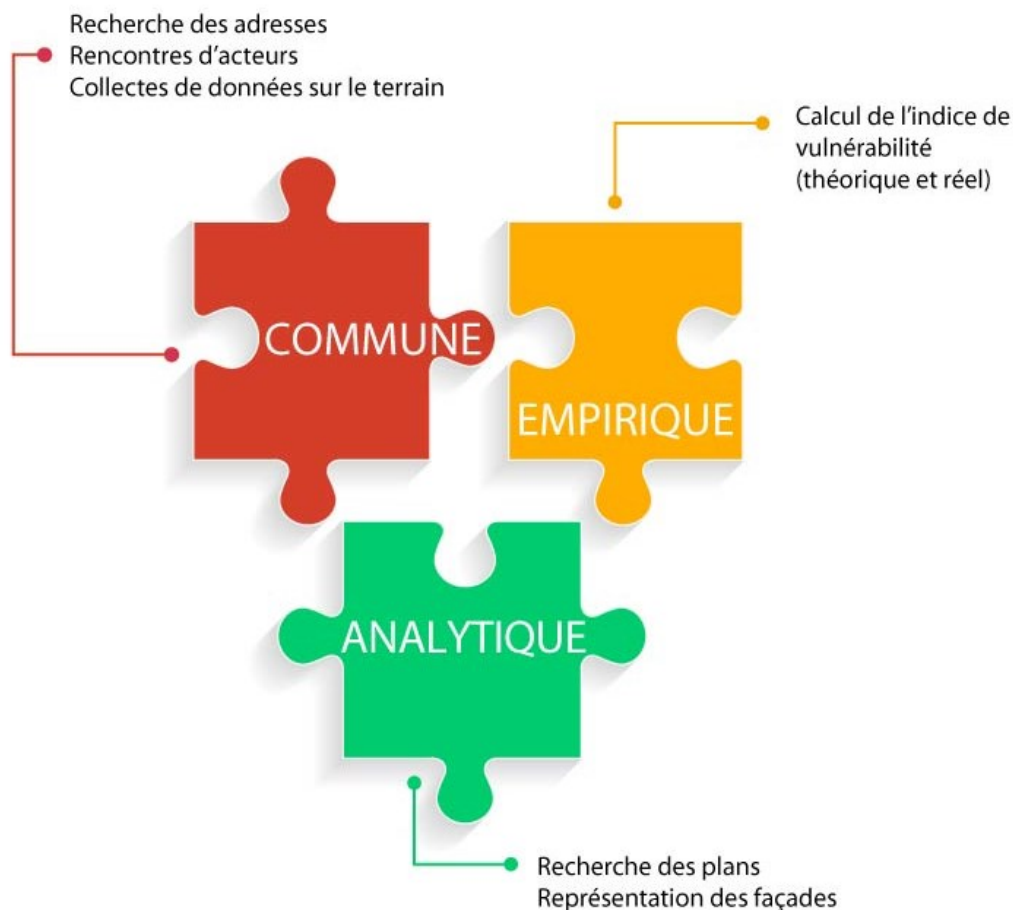


Illustration 26: Nous travaillons sur une partie commune aux deux méthodes avant de séparer notre étude en deux

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

a. Travail commun aux deux méthodes

Tout d'abord, la liste des 90 bâtiments est réalisée à partir de certaines bases de données : la BD_TOPO donne la hauteur de chaque bâtiment ainsi que sa situation géographique (et donc la connexion avec le voisin, la position dans l'îlot, et la hauteur relative), JANNAT donne l'année de construction et OSM donne un identifiant à chaque bâtiment. La première étape est la vérification de toutes ces données, bâtiment par bâtiment. Nous effectuons donc un travail de terrain, où nous relevons la hauteur du bâtiment, sa position, les caractéristiques de ses voisins, et où nous prenons en photo toutes les façades. Les photos de façades sont transmises à un expert¹, qui estime pour nous la date de construction du bâtiment.

¹ Michel Steve, Architecte et Responsable du pôle Architecture-rénovation du Service des autorisations d'urbanisme et permis de construire

b. Méthode analytique

Cette méthode sera appliquée en partie par le doctorant El-Mehdi Seddiki.

Nous commençons par faire une recherche des plans des bâtiments. Nous en collectons à la fois en sonnant aux portes et demandant, et en se rendant aux archives municipales.

Pour la suite de l'étude, il faut aussi un dessin des façades des bâtiments, afin de localiser précisément toutes les ouvertures (fenêtres, portes, garage...). Toutes les cotations doivent être présentes, pour savoir exactement les dimensions du bâtiment.

La dernière partie, faite par le doctorant, consiste à rentrer les caractéristiques de chaque bâtiment (critères, plans, façades) dans un logiciel. Ce logiciel, TREMURI, à l'origine développé à l'université de Gênes, applique un séisme au bâtiment entré. Dans l'étude, les bâtiments sont rentrés un à un et en agrégats, pour étudier l'effet du rapprochement. Le logiciel donne donc les dommages sur les bâtiments, et fournit aussi en sortie une courbe de capacité.

Une étude multicritère serait un plus dans cette méthode. Il s'agirait à la fois d'étudier le poids de chaque critère dans la façon dont réagit le bâtiment, et aussi de mélanger les critères, en faire des combinaisons, pour voir comment ils agissent ensemble.

c. Méthode empirique

Cette méthode sera entièrement appliquée par le groupe. Elle reprend la méthode mise en place dans l'étude Risk-UE.

Le début est l'affectation d'un indice de vulnérabilité à chaque bâtiment. Pour cela, nous commençons par affecter une typologie à chaque bâtiment. Ces typologies sont définies dans l'étude Risk-UE, et seront précisées plus tard dans le rapport. Il existe quatre grandes catégories de typologies : béton armé, maçonnerie, acier et bois. La typologie donne un indice de vulnérabilité de base. Il faut ensuite ajouter à cette valeur le poids des facteurs aggravants.

Une fois l'indice de vulnérabilité affecté, nous pouvons calculer un dommage moyen par bâtiment. La formule de ce dommage a pour variables l'intensité du séisme et l'indice de vulnérabilité. Nous pouvons réaliser finalement une courbe de vulnérabilité, avec pour chaque bâtiment les dommages en fonction de l'intensité du séisme.

4) Pour terminer...

La finalité de notre travail sera une comparaison des deux méthodes sur la base des dommages, pour un même séisme. Nous commencerons évidemment par comparer les données théoriques (de BD_TOPO, OSM et JANNAT) et les données réelles (relevées sur le terrain).

Nous ajouterons en plus une généralisation de la méthode empirique aux bâtiments de toute la ville de Nice. Aussi, nous reprendrons le travail d'un atelier de DAE5 de 2015¹. Leur étude avait été faite sur la base de données théoriques, et nous allons refaire une partie de leur travail sur le nombre de sans-abris avec nos chiffres et la généralisation faite précédemment.

¹ M. Cadoul, T. Desmedt, C. Fontaine, J. Lecoutere, N. Noel, *Atelier Plan d'évacuation interne de la ville de Nice face au risque sismique*, EPU DA5, 2015

IV. Traitement des données

Afin de pouvoir étudier l'échantillon et mettre en place une approche empirique et analytique, plusieurs démarches ont été nécessaires.

1) Une démarche commune aux deux approches

A partir de l'échantillon donné, il a été nécessaire dans un premier temps de réaliser une recherche des adresses de ces bâtiments. Pour ceci, nous avons joint plusieurs bases de données. Tout d'abord, nous avons eu de la part de la mairie un fichier qui associe à chaque bâtiment une adresse, sans représentation des formes de bâtiments (fichier : 088-DGI_PEV_LOCAL_INVAR.dbf), et un fichier de forme qui localise sur Nice chacune des constructions de la ville (fichier : 088-BATI.shp). Nous avons d'un autre côté un autre fichier de forme qui représente les bâtiments dans Nice et leur associe un numéro, l'ID_OSM (fichier : ToutNice.shp).

Nous avons d'abord fait une jointure entre 088-DGI_PEV_LOCAL_INVAR.dbf et 088-BATI.shp pour avoir l'adresse qui correspond à chaque bâtiment physique. Nous avons ensuite fait une jointure spatiale pour « superposer » les bâtiments avec adresse et ceux avec ID_OSM, afin d'avoir un seul grand tableau qui regroupe toutes les informations. Finalement, nous avons joint les ID_OSM des bâtiments de notre liste à la dernière couche réalisée afin d'avoir une adresse.

Il faut cependant noter que l'adresse était très approximative, et qu'il a fallu vérifier un par un les bâtiments. Elle donnait cependant une idée pour savoir vers quel endroit commencer.

La jointure entre la liste de bâtiments (et leurs ID_OSM) et ToutNice.shp nous a permis de localiser les bâtiments, à la fois sur toute la ville de Nice, et au sein de leur agrégat.

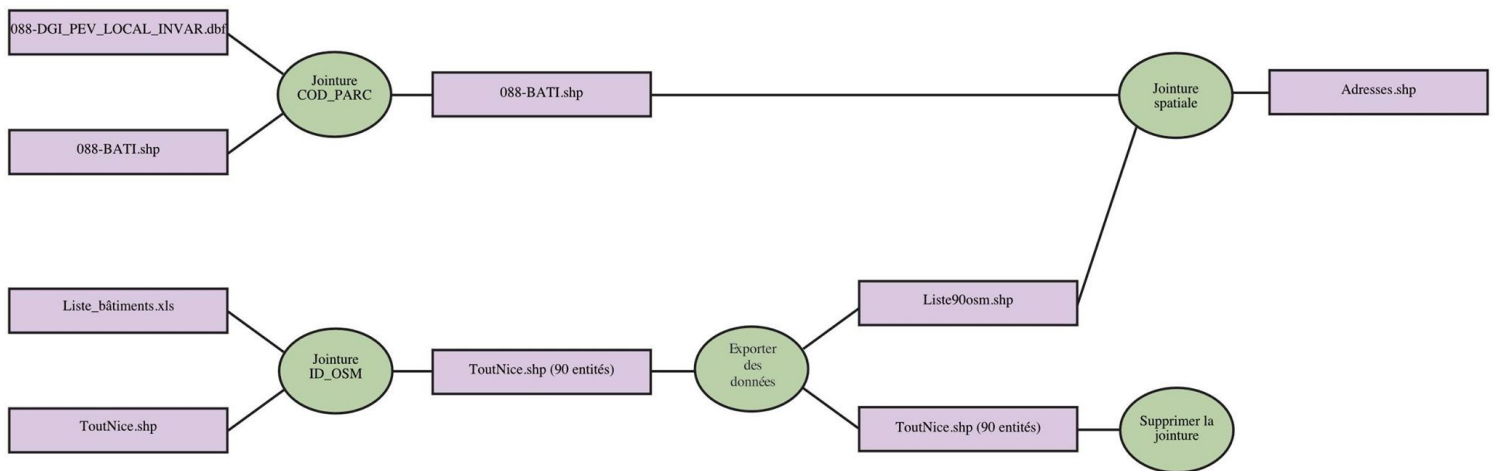
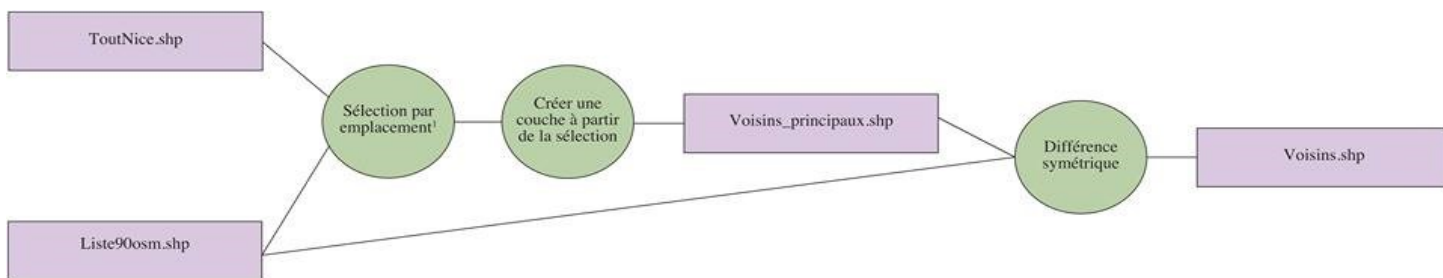


Illustration 27: Diagramme de géotraitement de recherche des adresses

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Étant donné que nous étudions aussi les voisins des bâtiments principaux, il a fallu faire un second traitement ArcGIS pour les localiser précisément. Nous avons pris la couche de tous les bâtiments de Nice et celle de nos 90 bâtiments. Une sélection par emplacement de ToutNice.shp sur Liste90osm.shp (share a line segment with) sélectionne les bâtiments voisins avec les bâtiments

principaux. Il faut donc faire une différence symétrique du résultat de la sélection et de la liste des 90 bâtiments pour n'avoir que les voisins.



¹ Sélection depuis la couche ToutNice.shp; option "share a line segment with" sur la couche Liste90osm.shp

Illustration 28: Diagramme de géotraitement de recherche des bâtiments voisins

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

En parallèle, il a été nécessaire de rencontrer de nombreux acteurs. Mr Steve nous a permis d'estimer la période de construction de nos 178 bâtiments et de comprendre l'extension urbaine de la ville de Nice ainsi que son architecture. Avec l'aide de Mr Boudon¹, nous avons pu déterminer le type de matériaux utilisés et ainsi la typologie à laquelle le bâtiment appartient. Enfin, la rencontre avec Mr Bertrand², nous a permis d'affiner nos connaissances en termes de risque sismique.

En complément, un travail de terrain a été nécessaire pour pouvoir obtenir les données dites réelles de chacun des critères.

A partir de cet ensemble de données (celles fournies par des bases de données et celles trouvées par le groupe), nous avons pu remplir des fiches bâtiments pour l'ensemble de nos 178 bâtiments. Un exemple est présenté ci-dessous.

Adresse : 2 rue Mascoinat

: oui non

: oui non

Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1968 - 1975 (An : 1973)	XVII à XVIII ^{me} ¹
Hauteur de construction	Mid-rise (18m)	Low-rise (12m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'îlot	Angle	Angle
Hauteur relative	Nulle	Nulle

ID OSM : 137356646

Illustration 29: Exemple d'une fiche bâtiment

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

¹ Prévention des Risques Urbains, Direction de la Prévention et de la Gestion des Risques

² Chef du Service Risque Sismique, Direction Territoriale Méditerranée - Laboratoire de Nice

Sur cette fiche bâtiment, les 5 critères sont renseignés: période de construction, hauteur de construction, connexion inter-bâtiments, position du bâtiment au sein de l'îlot et hauteur relative. Pour chacun d'entre eux, nous donnons une donnée théorique (fournie par les bases de données) et une donnée relevée sur le terrain. De plus, chacun des bâtiments est renseigné par son identifiant ID_OSM (fourni par la BD OSM), ainsi qu'une localisation du bâtiment dans son îlot et au sein de la ville de Nice.

Ce support nous servira par la suite pour une étude qui compare données théoriques et réelles (relevées sur le terrain).

2) Une démarche particulière à l'approche analytique

L'approche analytique sera traitée en partie par Mr El Mehdi Seddiki (doctorant). Son but final sera d'appliquer un séisme, via un logiciel, à une modélisation du bâtiment, dans son agrégat. Il a besoin pour cela d'une forme de l'emprise au sol de la construction, ainsi que de la localisation de toutes les ouvertures dans la façade.

Pour l'aider, il a d'abord été nécessaire de réaliser une recherche des plans des 178 bâtiments aux archives municipales de la ville de Nice, mais également de faire du porte à porte (pour récupérer ceux que nous ne trouvions pas aux archives). Au terme, nous avons pu récolter 20 plans, dont une dizaine sont exploitables (adresses qui ont changé entre temps et donc pas de correspondance avec notre bâtiment, démolition de l'ancienne construction...).

Nous avons continué par la représentation de l'emprise au sol du bâtiment sur AutoCad, avec les mesures trouvées sur les plans (les plus précises que nous pouvions trouver). Si le bâtiment dont nous avons le plan était dans un agrégat pour lequel nous n'avions rien trouvé aux archives, nous faisons les bâtiments voisins au plus précis avec vue aérienne et parcelle cadastrale (sur le site du géoportail).

La démarche pour les bâtiments sans aucun plan fut encore différente. Nous avons en premier lieu réalisé un script ArcPy (codage en Python sur ArcGis) qui exporte un à un les bâtiments au format .dxf (pour Autocad). Ce script exporte aussi la situation de chaque bâtiment sur toute la ville de Nice (utilisation sur les fiches bâtiment). Le script et son explication sont présents en annexe.

Cette phase fut très utile pour les bâtiments indépendants. Cependant, il y avait un manque pour les bâtiments au sein d'un agrégat. Le manque de temps pour réfléchir à un nouveau programme nous a poussé à faire la démarche d'exportation des agrégats manuellement.

Finalement, nous avons dû compléter ces modélisations avec un dessin des façades pour identifier les ouvertures (portes, fenêtres, garage...) du bâtiment.

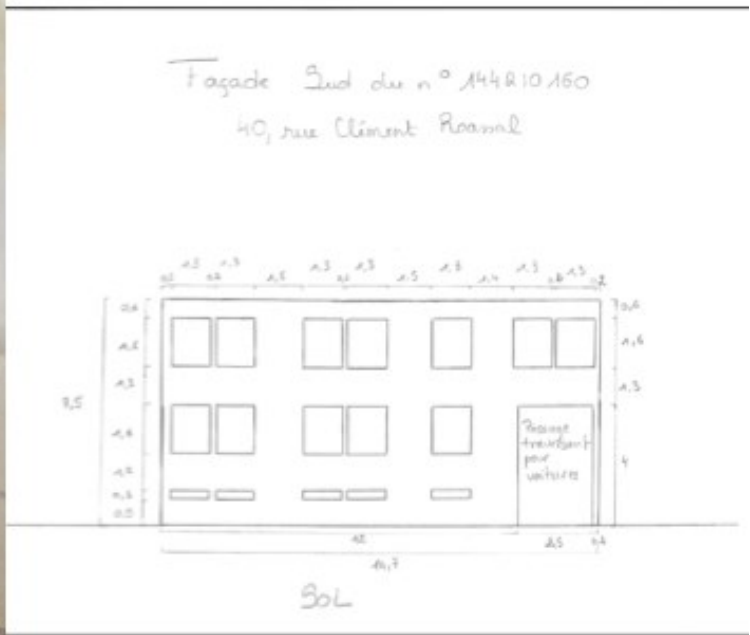
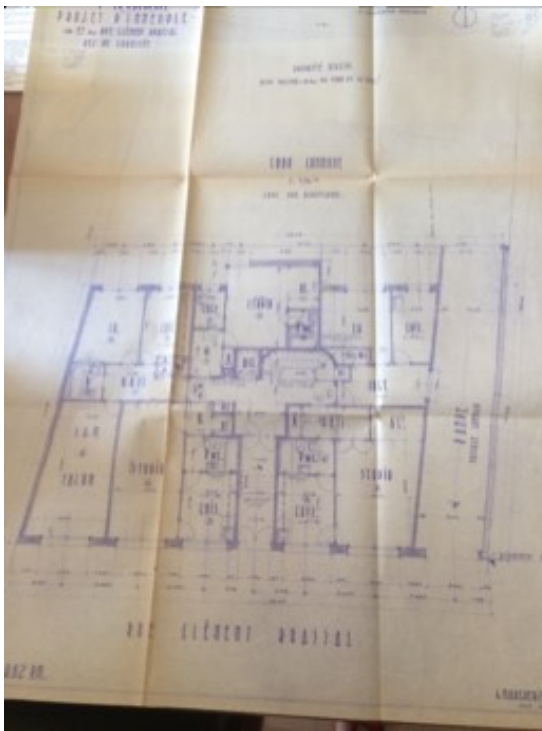


Illustration 30: Plan d'archives du bâtiment 144210160 et dessin de la façade
Réalisation (façade) : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

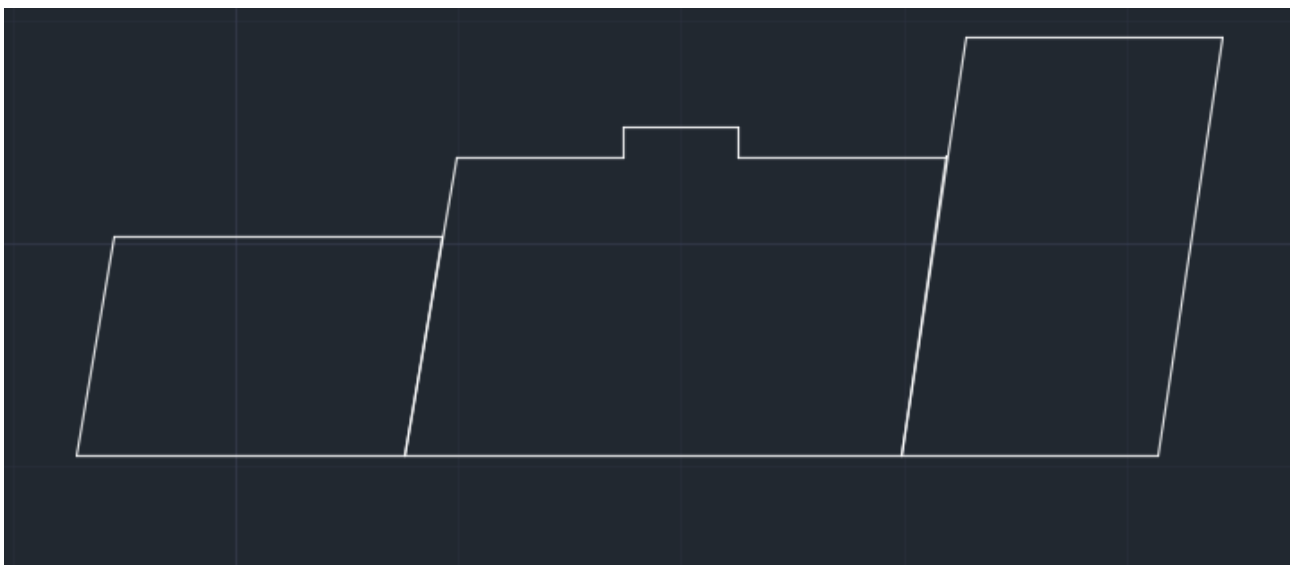


Illustration 31: Modélisation AutoCad de l'emprise au sol du bâtiment n°144210157 et ses voisins
Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

3) Une démarche particulière à l'approche empirique

a. La méthode Risk-UE : calcul de l'indice de vulnérabilité

Le calcul de l'indice de vulnérabilité (V_i) des bâtiments face au risque sismique est tiré de la méthode Risk-UE. Il s'appuie la méthode de niveau 1, qui repose sur approche empirique expliquée de façon plus détaillée dans la partie II de notre rapport. Cet indice est fonction de la typologie constructive du bâtiment ainsi que de différents facteurs susceptibles de modifier son comportement. Il varie entre 0 (non vulnérable) et 1 (très vulnérable). A partir de cet indice, il est possible de définir, en fonction de l'intensité macrosismique de l'EMS-98, des courbes de vulnérabilité, qui permettent d'évaluer la répartition des probabilités de dommages sur le bâtiment.

Cet indice s'obtient en faisant la somme des trois éléments suivants :

V_i^* : fonction de la typologie du bâtiment

Les typologies des bâtiments de la ville de Nice (au total 17) ont été tirées de la BTM. Ainsi, à chaque typologie (référéncée par nom) est affectée une valeur. C'est cette valeur que prendra V_i^* .

Nom	Typologie	V_i^*	Nom	Typologie	V_i^*
M1.1	Moellons	0.807	RC3.1	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462
M1.2	Pierres appareillées		RC3.2	Structure irrégulière	
M1.3	Pierre de taille	0.616	RC4	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386
M3.1	Planchers bois	0.722	RC5	Murs en béton préfabriqué	0.384
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		S1	Poteaux/poutres acier	0.363
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.776	S2	Structure en acier contreventé	0.287
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	S3	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484
RC1	Poteaux/poutres béton	0.442	W	Structure en bois	0.447
RC2	Murs de refend béton	0.386			

Illustration 32: Tableau de définition des typologies considérées pour Risk-UE

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

ΔV_m : représente l'influence des différents facteurs pouvant modifier le comportement

ΔV_m est calculé comme étant la somme des facteurs aggravants de vulnérabilité :

$$V_m : \Delta V_m = \sum V_m$$

En fonction de la typologie attribuée au bâtiment étudié, les facteurs aggravants et leurs valeurs diffèrent (entre béton, acier et maçonnerie). On retrouve deux codes (code bas et code moyen) dans les tableaux. Le code bas est affecté aux bâtiments dont la date de construction est antérieure à 1982 et le code moyen est affecté quant à lui aux bâtiments datant d'après 1982.

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	Facteurs de vulnérabilité		Code Bas	Code Moyen
Nb d'étages		Bas (1, 2 ou 3)	-0,04	-0,04
		Moyen (4, 5 ou 6)	0	0
		Haut (7 ou plus)	+0,08	+0,06
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Protubérance	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
Irrégularité élévation	Saillie	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Retrait	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Joints insuffisants (non PS)	Oui	+0,04	0
		Non	0	0
Poteaux courts	Oui	+0,02	+0,01	
	Non	0	0	
Règles PS	Avant 1982 : L	+0,16		
	Après 1982 : M		0	

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	Facteurs de vulnérabilité		
Etat d'entretien		B = bon	-0,04
		M = mauvais	+0,04
Nb d'étages		Bas (1 ou 2)	-0,04
		Moyen (3, 4 ou 5)	0
		Haut (6 ou plus)	+0,04
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui	+0,02
		Non	0
	Protubérances	Oui	+0,02
		Non	0
Irrégularité élévation	Saillie	Oui	+0,01
		Non	0
	Retrait	Oui	+0,01
		Non	0
Interaction entre bâtiment	Position dans l'îlot	A = angle	+0,04
		M = milieu	-0,04
		T = tête d'îlot	+0,06
	Différence de hauteur/voisin	Oui	+0,02
		Non	0
	Irrégularité en toiture	Oui	+0,04
		Non	0
	Décalage de plancher	Oui	+0,04
	Transparence - démolition	Oui	+0,04
	Balcons - cheminées	Oui	+0,01
Etages: haut. différente	Oui	+0,04	
	Non	0	

Illustration 33: Tableaux d'ajustements des facteurs aggravants

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

ΔV_r : prend en compte le jugement de l'expert concernant les particularités régionales de la vulnérabilité pressentie lors de l'observation

Le terme ΔV_r , dont la valeur sert à ajuster l'indice de vulnérabilité, est obtenu en fonction de l'appréciation de l'enquêteur. Celui-ci doit donc avoir des compétences dans le domaine de la conception parasismique. Cette partie de la méthode devra finalement être mise en œuvre par un technicien spécialisé en génie parasismique.

C'est pourquoi nous n'en tiendrons pas compte dans notre application.

En somme l'indice de vulnérabilité répond donc à la formule suivante :

$$V_I = V_I^* + \Delta V_m$$

A partir de cet indice de vulnérabilité et de la formule ci-dessous, nous pouvons déterminer l'endommagement moyen de chacun des bâtiments étudiés, en faisant varier l'intensité I selon l'échelle EMS-98.

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

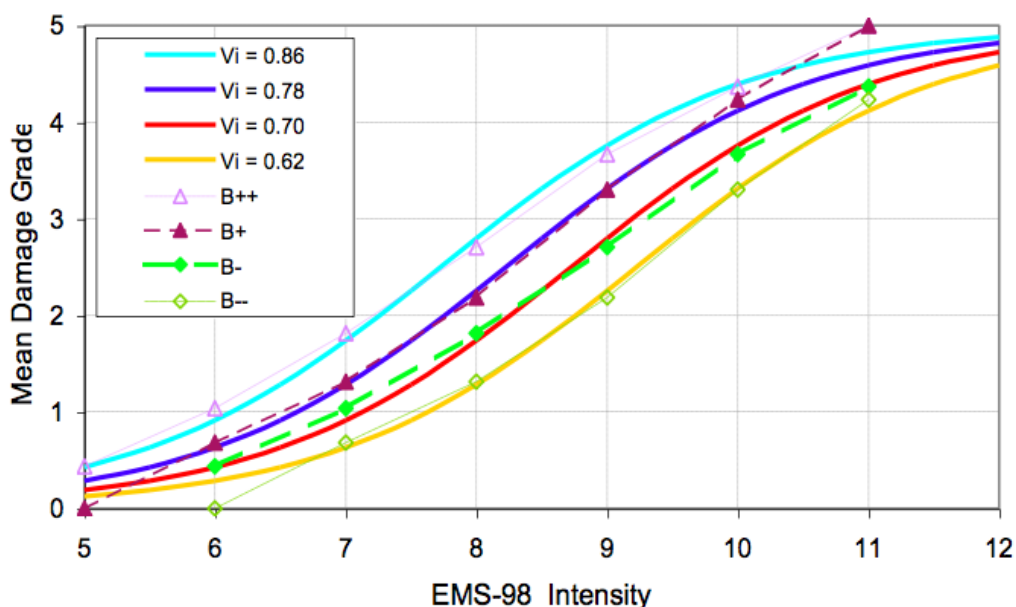


Illustration 34: Exemple de courbes de vulnérabilité, pour des indices de vulnérabilité différents

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Ainsi, nous obtenons une courbe de vulnérabilité du bâtiment en fonction de l'intensité choisie. Cette dernière permet d'obtenir le degré de dommages, toujours selon EMS-98. On distingue cinq classes de dommages propres aux bâtiments en béton armé et ceux en maçonnerie. Le degré d'endommagement du bâtiment varie de « dégâts négligeables à légers » pour la classe D1 à « destruction » pour la classe D5.











Classification des dégâts aux bâtiments en BETON ARME		Classification des dégâts aux bâtiments en maçonnerie	
(Degré 0 (D0) : dégâts nuls)			
	Degré 1 (D1) : Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structurels) Fissures fines dans le plâtre sur les parties de l'ossature ou sur les murs à la base. Fissures fines dans les cloisons et les remplissages.		Degré 1: Dégâts négligeables à légers (aucun dégât structurel, légers dégâts non structurels) Fissures capillaires dans très peu de murs. Chute de petits débris de plâtre uniquement. Dans de rares cas, chute de pierres descellées provenant des parties supérieures des bâtiments.
	Degré 2 (D2) : Dégâts modérés (dégâts structurels légers, dégâts non structurels modérés) Fissures dans les structures de types portiques (poteaux et poutres) et dans les structures avec murs. Fissures dans les cloisons et les murs de remplissage ; chute des revêtements friables et du plâtre. Chute du mortier aux jonctions entre les panneaux des murs.		Degré 2: Dégâts modérés (dégâts structurels légers, dégâts non structurels modérés) Fissures dans de nombreux murs. Chutes de grands morceaux de plâtre. Effondrement partiel des cheminées.
	Degré 3 (D3) : Dégâts sensibles à importants (dommages structurels modérés, dommages non structurels importants) Fissures dans les poteaux et dans les nœuds à la base de l'ossature et aux extrémités des linteaux des murs avec des ouvertures. Ecaillage du revêtement de béton, flambement des barres d'armature longitudinale. Fissures importantes dans les cloisons et les murs de remplissage, défaillance de certains panneaux de remplissage.		Degré 3: Dégâts sensibles à importants (dégâts structurels modérés, dégâts non structurels importants) Fissures importantes dans la plupart des murs. Les tuiles des toits se détachent. Fractures des cheminées à la jonction avec le toit; défaillance d'éléments non structurels séparés (cloisons, murs pignons).
	Degré 4 (D4) : Dégâts très importants (Dégâts structurels importants, dégâts non structurels très importants) Fissures importantes dans les éléments structurels avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence ; perte de l'adhérence acier-béton ; basculement des poteaux. Eroulement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur.		Degré 4: Dégâts très importants (dégâts structurels importants, dégâts non structurels très importants) Défaillance sérieuse des murs; défaillance structurelle partielle des toits et des planchers.
	Degré 5 (D5) : Destruction (Dégâts structurels très importants) Effondrement total du rez-de-chaussée ou de parties de bâtiments.		Degré 5: Destruction (dégâts structurels très importants) Effondrement total ou presque total.

Illustration 35: Définition des dégâts, sur structure en béton armé (gauche) et en maçonnerie (droite)

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

b. Évaluation de l'indice de vulnérabilité à partir de données théoriques

En s'appuyant sur la base de données existante, il convient de calculer l'indice de vulnérabilité du bâti avec les données dites « théoriques » avant de calculer l'indice de vulnérabilité du bâti avec les données « réelles » établies grâce à un travail de terrain.

Pour calculer l'indice de vulnérabilité du bâti à partir des données théoriques de l'échantillon (BD TOPO, JANNAT, BD OSM), nous nous appuyons notamment sur les documents fournis par l'APUR¹.

¹ Atelier Parisien d'Urbanisme

La première étape vise à attribuer un indice typologique à un bâtiment donné. Pour cela, nous prenons d'abord la donnée JANNAT, relative à la date de construction d'un bâtiment :

	OSM_ID ▲	H_Corr	Classe_Con	JANNAT	Clss_HMFo	Periode_ok	TYPE_1	Cls_H
25	32110001	29.00000000...	Cnx complte	1956	rreg nulle	[1946-1967]	Milieu	High-Rise
26	32138762	18.00000000...	Cnx indepen...	1980	rreg non co...	[1976-1981]	Independant	Mid-Rise
27	32138763	18.00000000...	Cnx indepen...	1965	rreg non co...	[1946-1967]	Independant	Mid-Rise
28	33732804	19.00000000...	Cnx complte	1966	rreg nulle	[1946-1967]	Milieu	High-Rise
29	33732859	19.00000000...	Cnx complte	1966	rreg nulle	[1946-1967]	Milieu	High-Rise
30	37523481	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
31	37523482	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
32	37523483	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
33	37523484	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
34	37523485	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
35	37523486	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
36	37523487	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
37	37523488	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
38	37523489	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
39	37523490	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
40	37523491	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise
41	37523492	9.000000000...	Cnx complte	1973	rreg nulle	[1968-1975]	Milieu	Low-Rise

Illustration 36: Table attributaire de la couche du bâti

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, avril 2015

Nous nous appuyons ensuite sur un travail de l'APUR, qui a produit une suite de 6 documents relatifs aux performances thermiques des bâtiments parisiens pour une période donnée. Dans chacun de ces documents, un volet « techniques de constructions » apporte des détails quant aux matériaux de constructions pour plusieurs « types » de bâtiments de chaque période.

	TYPE HAUSSMANNIEN	TYPE POST-HAUSSMANNIEN	LOGEMENT OUVRIER COLLECTIF
HAUTEUR	R+5+C	R+5+C à R+6+2C	R+4 à R+6
FAÇADE	Balcon filant à l'étage de couronnement et à l'étage noble	Balcon filant à l'étage de couronnement et à l'étage noble Ornementation riche Oriels, loggias	Brique apparente
STRUCTURE	Façade porteuse Façades sur cour souvent plus fines	Façade porteuse Façades sur cour souvent plus fines	Façade porteuse Façades sur cour souvent plus fines
ENVELOPPE	Murs en pierre de taille (de 40 cm à 50 cm environ) Pans de bois avec remplissage en maçonnerie (de 25 cm à 30 cm d'épaisseur environ) Métal pour les éléments structurels	Murs en pierre de taille (de 40 cm à 50 cm environ) Pans de bois avec remplissage en maçonnerie (de 25 cm à 30 cm d'épaisseur environ) Béton armé ou métal pour les éléments structurels	Brique en remplissage et en parement (de 40 cm à 50 cm d'épaisseur sur rue et de 20 à 30 cm sur cour) Béton armé ou métal pour les éléments structurels
OUVERTURES	Menuiseries en bois Menuiseries PVC (si rénovation) Simple-vitrage Double vitrage	Menuiseries en bois Menuiseries PVC (si rénovation) Simple-vitrage Double vitrage	Menuiseries en bois Menuiseries PVC (si rénovation) Simple-vitrage Double vitrage
VENTILATION	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle
TOITURES	Double-pente (zinc ou tuile) Comble à la Mansart (zinc et/ou ardoise)	Double-pente (zinc ou tuile) Comble à la Mansart (zinc et/ou ardoise)	Double-pente (zinc ou tuile)
DISPOSITION INTÉRIEURE	Appartements généralement traversants Pièces humides (cuisine, salle de bain) situées sur cour	Appartements généralement traversants Pièces humides (cuisine, salle de bain) situées sur cour	

Illustration 37: Méthodes de construction pour bâtiments de 1851 à 1914

Source : APUR, Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1851 et 1914, 2011

Réalisé à l'échelle de l'agglomération parisienne, ce travail sera utilisé pour calculer un indice de base de vulnérabilité théorique pour chaque bâtiment de l'échantillon. En effet, accessible et gratuit ce travail de classification très complet peut être repris au niveau national pour la plupart des grandes villes françaises.

Ainsi, les 6 documents produits par l'APUR (6 périodes de construction) sont découpés de la façon suivante :

- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits avant 1800
- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1801 et 1850
- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1851 et 1914
- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1918 et 1939
- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974
- Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1975 et 2000

L'indice V_i^* concernant la typologie du bâtiment est associé grâce à la définition de la structure du bâtiment, retrouvée dans le volet « techniques de construction ».

En ce qui concerne l'évaluation des facteurs aggravants V_M pour un bâtiment, nous nous appuyons à la fois sur les données issues de la BD TOPO et des caractéristiques de chaque bâtiment à partir des documents produits par l'APUR.

	TYPE IGH	IMMEUBLE RÉSIDENTIEL DE STANDING
HAUTEUR	De R + 16 à R + 30 (jusqu'à 100 mètres)	De R + 8 à R + 11
FAÇADE	Acier laqué, verre, aluminium, béton armé... en panneaux Traitement indifférencié des façades sur rue et sur cour	Acier laqué, inox, bois contre-plaqué, verre, aluminium, pierre agrafée, béton armé... en panneaux ou en parement Balcons filants, loggias
STRUCTURE	Ossature porteuse	Ossature porteuse
ENVELOPPE	Béton armé pour l'ossature Brique, béton ou panneaux légers (aluminium, verre...) en remplissage	Béton armé pour l'ossature Brique, béton ou panneaux légers (aluminium, verre...) en remplissage
OUVERTURES	Taux de vitrage très élevé Disposition horizontale Menuiseries en PVC ou en aluminium	Taux de vitrage très élevé Disposition horizontale Menuiseries en PVC ou en aluminium
VENTILATION	Ventilation naturelle Ventilation mécanique contrôlée (VMC simple flux)	Ventilation naturelle Ventilation mécanique contrôlée (VMC simple flux)
TOITURES	Toiture-terrasse en béton armé	Toiture-terrasse en béton armé
DISPOSITION INTÉRIEURE	Appartements non traversants	

Illustration 38: Méthodes de construction pour bâtiments de 1945 à 1974, en rouge les éléments constituant des facteurs aggravants

Source : APUR, Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974, 2011

Définition des différents facteurs aggravants

Le facteur aggravant **retrait** « qualifie tout élément d'une élévation situé en arrière d'un alignement ou du plan nu d'une façade ou d'une paroi quelconque : un attique est un étage en retrait »¹.

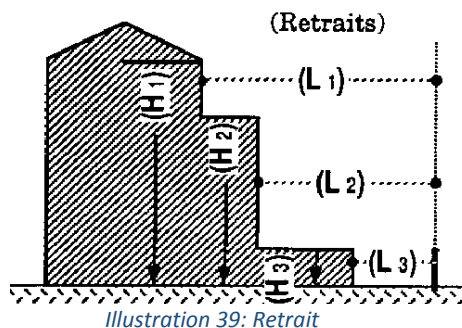


Illustration 39: Retrait

Photo : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Source image : P. Dusserre Telmon, Dictionnaire vivant du bâtiment et des travaux publics, janvier 1998

Le facteur aggravant **saillie** est un « élément, corps d'ouvrage, membre d'architecture qui est en avant de l'alignement ou du nu d'une façade : les balcons, corbeaux, corniches, contreforts... sont des saillies »¹.



Illustration 40: Saillie

Photo : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

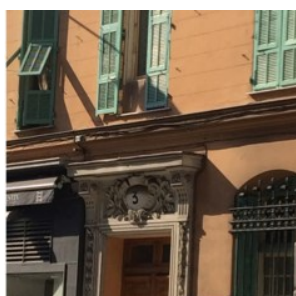


Illustration 41: Protubérance

Photo : Stage collectif Nice 2015

Le facteur **protubérance** désigne une « saillie en forme de bosse, arrondie, proéminente »².

¹ P. Dusserre Telmon, *Dictionnaire vivant du bâtiment et des travaux publics*, Édition Dusserre Telmon, janvier 1998, 488 pages

² Dictionnaire Larousse en ligne, www.larousse.fr/dictionnaires/francais/protub%C3%A9rance/64618?q=protub%C3%A9rance#63894, mai 2015

Le facteur **poteaux courts** se trouve « dans les bâtiments dont la structure porteuse comprend des poteaux ou trumeaux de faible largeur. La part de l'effort sismique reprise par ces éléments dépend beaucoup de leur élancement. Lorsqu'à un niveau donné, certains poteaux sont sensiblement plus courts que les autres, leur raideur est beaucoup plus élevée et ils attirent une plus grande part de l'effort sismique. Ils risquent donc de périr rapidement par rupture d'effort tranchant au niveau de leurs extrémités, à moins d'être dimensionnés en conséquence »¹.

Le facteur **transparence** est lorsque « un niveau est beaucoup moins raide que les niveaux supérieurs ou inférieurs ».

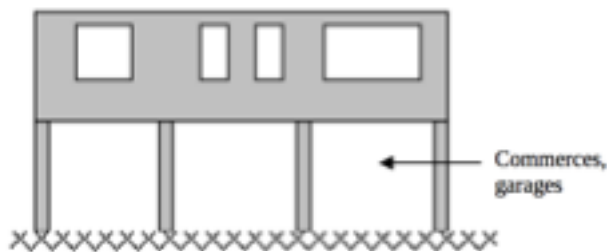


Illustration 42: *Transparence*

Photo : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Source image : P. Dusserre Telmon, Dictionnaire vivant du bâtiment et des travaux publics, janvier 1998

Les différentes formes d'**irrégularités en plan**.

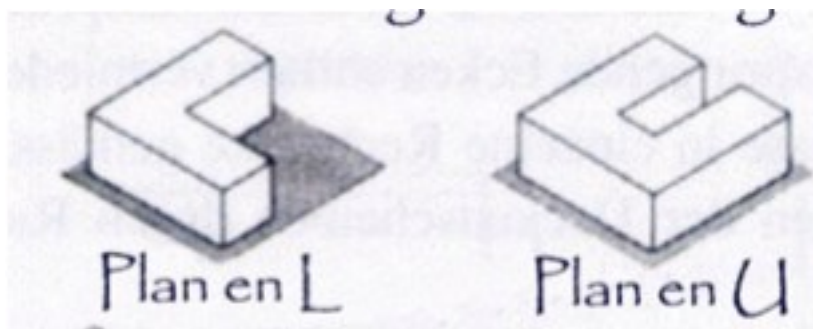


Illustration 43: *Irrégularités en plan*

Source image : P. Dusserre Telmon, Dictionnaire vivant du bâtiment et des travaux publics, janvier 1998

¹ Groupe de travail AFPS-CSTB, *Diagnostic et renforcement du bâti existant vis-à-vis du séisme*, mars 2013, 77 pages.

Ainsi, pour les facteurs aggravants suivants, nous utilisons la base de données de l'échantillon (illustration 36) :

- **Nombre d'étages** (à partir de **H_Corr**) : $(H_Corr/2,5)$ renvoie le nombre d'étages théorique
- **Forme (L,C)** (à partir de la **visualisation sur ArcMap**) des bâtiments de l'échantillon
- **Règles PS** (à partir de **JANNAT**) : si **JANNAT > 1982** alors oui, sinon non
- **Différence de hauteur/voisin** (à partir de **Clss_HMFo**) : si **Clss_HMFo = Irreg nulle** ou **Irreg non considérée** alors non, sinon oui
- **Position dans l'îlot** (à partir de **TYPE_1** et à l'aide du tableau de correspondance suivant)

TYPE_1	Position dans l'îlot (Risk UE)
Angle	Tête d'îlot
Coin	Angle
Milieu	Milieu

En ce qui concerne les facteurs aggravants suivants, nous utilisons les documents produits par l'APUR :

- **Protubérance**
- **Saillie**
- **Balcons-cheminées**

Reste un certain nombre de facteurs que nous ne pouvons pas renseigner pour le calcul des facteurs aggravants :

- **Poteaux courts**
- **État d'entretien**
- **Différence de hauteur/voisin**
- **Irrégularité en toiture**
- **Décalage de plancher**
- **Transparence/démolition**
- **Étage : hauteur différente**

c. Évaluation de l'indice de vulnérabilité à partir de données réelles

A partir du travail de terrain puis de la rencontre avec des acteurs/experts de la construction niçoise, il convient dans un second temps de calculer l'indice de vulnérabilité à partir de données « réelles ». Pour cela, il est d'abord nécessaire de mettre en place une méthodologie pour définir

l'indice de typologie, avant de déterminer l'indice relatif aux facteurs aggravants du bâtiment.

En effet, un simple examen visuel n'étant pas suffisant, et les ressources et moyens à disposition ne permettant pas de déterminer avec précision la typologie du bâtiment, nous procédons selon une méthodologie que nous avons mise en place. Elle nous permet d'établir une typologie, élaborée sur la base de rencontres avec des professionnels du bâti et d'une étude bibliographique approfondie.

Etape 1 : Regrouper les typologies

Dans un premier temps nous rassemblons et isolons les typologies en trois catégories pour faciliter l'observation. Nous distinguons alors les bâtiments en maçonnerie, en béton et en acier :

Bâtiment en maçonnerie			Bâtiment en béton			Bâtiment en acier		
Nom	Typologie	V_i^*	Nom	Typologie	V_i^*	Nom	Typologie	V_i^*
M1.1	Moellons	0.807	RC3.1	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462	S1	Poteaux/poutres acier	0.363
M1.2	Pierres appareillées		RC3.2	Structure irrégulière				
M1.3	Pierre de taille	0.616	RC4	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386			
M3.1	Planchers bois	0.722	RC5	Murs en béton préfabriqué	0.384			
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		S2	Structure en acier contreventé	0.287			
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.776	S3	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484			
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	W	Structure en bois	0.447			
RC1	Poteaux/poutres béton	0.442						
RC2	Murs de refend béton	0.386						

Illustration 44: Typologies étudiées sur Nice et valeurs V_i^* associées

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Pour déterminer à quelle catégorie un bâtiment appartient, revenons sur l'histoire de la construction de chacune de ces catégories :

• Les bâtiments en maçonnerie

Les bâtiments dits en « maçonnerie » sont des constructions nées de l'assemblage de matériaux élémentaires tels que la pierre, la brique, la terre ou le pisé, liés par un mortier (essentiellement de l'argile ou de la chaux).

Au sein de la ville de Nice, nous retrouvons un grand nombre de constructions en maçonnerie, fabriquées à l'aide de pierres calcaires provenant de la Turbie (située à une vingtaine de kilomètres de l'agglomération). Nous ne dénombrons pas moins de 64% de constructions en maçonnerie¹ au sein de la ville. Il s'agit généralement de bâtiments construits avant 1949, et sont de types très variés. Nous retrouvons des logements collectifs bon marché, des maisons bourgeoises ou encore

¹ P. Mouroux, B. Le Brun, S. Depinois, E. Bertrand, P. Masure, *Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice*, BRGM / RP-53202-FR, septembre 2004, 142 pages

des maisons ouvrières.

Ci-dessous quelques exemples de bâtiments construits en maçonnerie :



Illustration 46: Maison de la reconstruction 1948-1974

Source : Grenelle de d'Environnement, Rapport Règles de l'Art Grenelle de l'Environnement : Analyse détaillée du parc résidentiel existant, 2012, 145 pages



Illustration 45: Immeuble collectif en maçonnerie

Source : Grenelle de d'Environnement, Rapport Règles de l'Art Grenelle de l'Environnement : Analyse détaillée du parc résidentiel existant, 2012, 145 pages

Nous remarquons quelques signes distinctifs pouvant nous permettre d'identifier cette catégorie de construction, à savoir la forme des toits (à deux pans pour les maisons individuelles, ou présence d'auvent sur les bâtiments à usage collectif) ou des éléments de maçonnerie apparents sur la façade.

- **Les bâtiments en béton**

La généralisation des constructions en béton est assez récente. En effet, l'histoire du béton est marquée par une succession d'inventions, d'innovations et de brevets. Si le ciment de béton est une découverte remontant à l'ère Egyptienne, ce mélange de chaux, d'argile et d'eau n'est guère utilisé en France avant les années 1920, sur les bâtiments « civils ». L'invention du ciment armé qui deviendra une technique de construction très courante en France revient au jardinier Joseph Monier qui dépose successivement deux brevets en 1867 et 1891. Plus tard, en 1929, c'est Eugène Freyssinet qui révolutionnera le monde de la construction en introduisant la notion de « béton précontraint ». C'est dans les années 1920-1930 que l'emploi de l'ossature béton se généralise dans les constructions d'immeubles de logements collectifs, notamment avec l'emploi du poteau-poutre. En effet, pour des raisons économiques, le béton remplace successivement tous les éléments de la structure : les poteaux, les poutres, le plancher, les escaliers. C'est après la guerre, dans un contexte où le marché de la construction explose, que l'emploi de la structure en béton est généralisé pour construire en grande quantité dans des délais de temps très courts.

Au sein de la ville de Nice, ce sont environ 32% des constructions qui ont bénéficié de ces techniques de construction¹. Il s'agit généralement de grands ensembles construits durant les 30 Glorieuses (des suites d'un grand besoin de logements). En effet, l'un des avantages de cette technique de construction est l'importance des logements construits dans des délais impartis restreints.



Illustration 47: Petit collectif divers (1975-1981)

Source : Grenelle de l'Environnement, Rapport Règles de l'Art Grenelle de l'Environnement : Analyse détaillée du parc résidentiel existant, 2012, 145 pages

Tout comme pour les constructions en maçonnerie, on peut reconnaître cette « catégorie » de bâtiments à l'aide de signes visuels distinctifs, comme les balcons filants ou encore des ouvertures irrégulières d'un étage à un autre. A savoir aussi que l'indicateur temporel est d'une importance capitale : avant le début du XXI^{ème} siècle les bâtiments en béton n'existaient pas.

- **Les bâtiments en acier**

C'est au début du XIX^{ème} siècle que l'essor de la production d'acier modifie les techniques de construction. En effet, l'acier permet de construire des bâtiments aux performances structurelles inégalées jusqu'à présent.

Cependant, sur notre territoire d'étude, la ville de Nice, les constructions en acier concernent à peine 3% des bâtiments¹ de la ville. De plus, ce type de construction s'applique généralement à des ouvrages d'art ou des structures destinées à recevoir du public. Très peu de bâtiments d'habitation sont alors concernés par ce mode constructif.

En somme, pour déterminer la catégorie à laquelle un bâtiment de l'échantillon appartient, nous nous référons au tableau synthèse élaboré ci-dessous :

CATÉGORIE	MAÇONNERIE	BÉTON	ACIER
PERIODES DE CONSTRUCTION LES PLUS PROBABLES	Avant 1949 pour les bâtiments collectifs et jusqu'au milieu du XX ^{ème} siècle pour les maisons individuelles	Dès 1920, généralisation pour tous les bâtiments collectifs	-
TYPE DE LOGEMENTS CONCERNÉS	Logements collectifs bon marché, maisons bourgeoises ou encore maisons ouvrières	Essentiellement des immeubles collectifs	-
SIGNES DISTINCTIFS	Éléments maçonnés sur la façade, toits à deux pans ou présence d'auvent	Balcons filants, ouverture irrégulière d'un étage un autre	-

Illustration 48: Tableau de synthèse des grandes catégories de construction

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

¹ P. Mouroux, B. Le Brun, S. Depinois, E. Bertrand, P. Measure, *Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice*, BRGM / RP-53202-FR, septembre 2004, 142 pages

Différencier un bâtiment en béton d'un bâtiment en acier est très complexe par une simple analyse visuelle. Dans la mesure où la catégorie acier est sous-représentée sur notre territoire d'étude, nous ne la prenons pas en compte dans la suite de notre évaluation. De plus, si notre échantillon d'étude devait contenir des bâtiments en acier, la valeur affectée à leur typologie variant très peu, l'incertitude serait donc faible.

Etape 2 : Affectation d'une typologie à un bâtiment

Nous cherchons dans un deuxième temps à affecter la valeur associée à la typologie la plus proche de la réalité pour un bâtiment donné, toujours sur une simple analyse visuelle et à l'aide de quelques indicateurs temporels.

Pour cela, nous nous intéresserons successivement aux bâtiments en maçonnerie puis aux bâtiments en béton.

• Les bâtiments en maçonnerie

La catégorie des bâtiments en maçonnerie contient plusieurs typologies. Nous sommes dans la mesure d'en distinguer quatre sur sept. Si l'affectation d'une typologie à un bâtiment donné s'avérait impossible, et pour ne pas « fausser » l'étude, l'indice de la typologie la plus défavorable sera alors affecté.

Ainsi, pour déterminer la typologie la plus adaptée à un bâtiment en maçonnerie, nous nous appuyerons sur le tableau ci-dessous, réalisé sur la base de témoignage d'experts et d'une étude bibliographique. Ce document constitue un support d'aide à l'attribution d'un indice typologique aux bâtiments échantillonnés sur Nice :

Typologie	Valeurs	Quartiers/Types et périodes de construction	Images	Signes distinctifs
Moellons	0,807	Essentiellement : Vieille Ville / Immeubles collectifs (avant 1949)		Agencement des pierres
Pierres appareillés	0,807	Quartier : Port et Garibaldi / Immeubles collectifs ou maisons individuelles (jusqu'à début XX ^{ème})		Agencement des pierres
Pierres de taille	0,616	Immeubles collectifs ou haussmaniens (avant 1949) / maisons bourgeoises (1830 - début XX ^{ème})		Pierres beaucoup plus travaillées
Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0,722	Essentiellement : Immeubles collectifs (à partir du début du XX ^{ème} siècle)		Présence de ventaux, balcons à forme reconnaissable

Illustration 49: Tableau de référencement pour l'attribution d'une typologie pour les bâtiments en maçonnerie

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

- **Les bâtiments en béton**

De la même façon que pour les bâtiments en acier le tableau ci-dessous constitue un support d'aide à la décision pour l'attribution d'un indice de typologie au sein de la construction en béton :





Typologie	Valeurs	Quartiers/Types et périodes de construction	Images	Signes distinctifs
Poteaux poutres béton	0,442	Immeubles de logements collectifs (très utilisé dans les années 1920 - 1940)		très souvent : présence de magasins au RDC
Structure mixte en BA (portique et murs)	0,386	Immeubles de logements collectifs (début du XX ^{ème} siècle)		-
Structure en béton préfabriqué	0,384	Généralisation après 1945		balcons filants
Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière / structure irrégulière	0,462	-		-

Illustration 50: Tableau de référencement pour l'attribution d'une typologie pour les bâtiments en béton

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Etape 3 : Facteurs aggravants

La dernière étape consiste à ajouter les facteurs aggravants qui sont susceptibles d'influer sur la structure du bâtiment en cas de séisme. Pour cela, une simple analyse visuelle sur le terrain est suffisante.

- d. Exemple de calcul d'indice de vulnérabilité à partir de données théoriques et de données réelles

Voyons à présent la mise en application des méthodologies développées ci-dessus, au travers d'un exemple, le bâtiment de l'échantillon d'étude correspondant à l'ID_OSM n°137356646 :

Adresse : 2 rue Mascoinat

: oui non

: oui non

Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1968 - 1975 (An : 1973)	XVII à XVIII ^{ème}
Hauteur de construction	Mid-rise (18m)	Low-rise (12m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Angle	Angle
Hauteur relative	Nulle	Nulle

ID OSM : 137356646

Illustration 51: Fiche du bâtiment 137356646

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Calcul de l'indice de vulnérabilité « théorique » du bâtiment n°137356646

- Calcul de l'indice V_i^{*th}

A partir des données théoriques du bâtiment situé au 2, rue Mascoinat, notamment en ce qui concerne la date théorique de construction, estimée à 1973, nous nous référons au rapport de l'APUR suivant : « *Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974* » :

GRANDS ENSEMBLES DE LOGEMENTS SOCIAUX

HAUTEUR	R + 6 à R + 7
FAÇADE	Brique, pierre, béton, pavés de verre, aluminium... en parement Balcons filants, loggias Traitement indifférencié des façades sur cour et sur rue
STRUCTURE	Façade porteuse Ossature porteuse
ENVELOPPE	Béton armé pour l'ossature Panneaux en béton armé (préfabrication lourde) Panneaux en aluminium, en verre ou mixtes (préfabrication légère)
OUVERTURES	Menuiseries en PVC Petites fenêtres pour les pièces de service Grande fenêtres pour les pièces principales
VENTILATION	Ventilation naturelle
TOITURES	Toiture-terrasse en béton armé
DISPOSITION INTÉRIEURE	

Illustration 53: Techniques de construction des logements construits entre 1945 et 1974

Source : APUR, Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974, mars 2011

Nom	Typologie	V_i^*	Nom	Typologie	V_i^*
M1.1	Moellons	0.807	RC3.1	Mur de remplissage maçonnerie, structure régulière	0.462
M1.2	Pierres appareillées		RC3.2	Structure irrégulière	
M1.3	Pierre de taille	0.616	RC4	Structure mixte en BA (portiques et murs)	0.386
M3.1	Planchers bois	0.722	RC5	Murs en béton préfabriqué	0.384
M3.3	Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie		S1	Poteaux/poutres acier	0.363
M3.2	Voûtes en maçonnerie	0.776	S2	Structure en acier contreventé	0.287
M4	Murs porteurs en maçonnerie armée ou confinée	0.45	S3	Poteaux/poutres acier + remplissage maçonnerie non armée	0.484
RC1	Poteaux/poutres béton	0.442	W	Structure en bois	0.447
RC2	Murs de refend béton	0.386			

Illustration 52 : Typologies étudiées sur Nice et valeurs de V_i^* associées

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Nous associons alors au bâtiment la typologie « *Structure mixte en BA (Béton Armé)* » ayant pour valeur de l'indice de vulnérabilité de base 0,386 et portant le code de référencement « RC.4 ».

- Calcul de l'indice ΔV_{Mth}

Pour le calcul des facteurs aggravants, nous utilisons le tableau Risk-UE relatif aux facteurs de vulnérabilité pour une structure en béton ou acier.

A partir des données théoriques de la base de données, nous pouvons alors déterminer ΔV_{Mth} en excluant deux facteurs dont la valeur reste indéterminable avec les données à disposition.

$$V_i^*_{(137356646)th} = 0,386$$

Facteurs aggravants pour les bâtiments RC et acier	Facteurs de vulnérabilité		Code Bas	Code Moyen
		Nb d'étages	Bas (1, 2 ou 3)	-0,04
		Moyen (4, 5 ou 6)	0	0
		Haut (7 ou plus)	+0,08	+0,06
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Protubérance	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
Irrégularité élévation	Saillie	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Retrait	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Joints insuffisants (non PS)	Oui	+0,04	0
		Non	0	0
	Poteaux courts	Oui	+0,02	+0,01
		Non	0	0
	Règles PS	Avant 1982 : L	+0,16	
		Après 1982 : M		0

Illustration 54: Valeurs des facteurs aggravants pour les bâtiments en béton armé ou acier / Application au bâtiment 137356646

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

$$\begin{aligned}
 \text{Ainsi, } \Delta V_{M_{th}} &= V_{M1} + V_{M2} + V_{M3} + V_{M4} + V_{M5} + V_{M6} + V_{M7} + V_{M8} \\
 &= 0 + 0 + 0 + 0,02 + (NR) + 0,04 + (NR) + 0,16 \\
 &= 0,22
 \end{aligned}$$

$$\Delta V_{M(137356646)_{th}} = 0,22$$

- Calcul de $V_{I_{th}}$

Enfin, par somme du facteur de typologie avec le facteur aggravant on détermine l'indice de vulnérabilité du bâtiment pour les données théoriques :

$$V_I = V_I^* + \Delta V_M = 0,386 + 0,22 = 0,606$$

$$V_{I(137356646)_{th}} = 0,606$$

Calcul de l'indice de vulnérabilité « réel » du bâtiment n°137356646

A partir du travail de terrain et de la collecte de données, nous cherchons à calculer l'indice de vulnérabilité « réel » du même bâtiment.

- Calcul de l'indice V_I^* réel

Pour déterminer l'indice relevant de la typologie du bâtiment n°137356646, nous nous appuyons tout d'abord sur la date réelle de construction, à savoir entre le XVII^{ème} et le XVIII^{ème} siècle.

En se référant au tableau de synthèse des grandes catégories de construction (Illustration 49), nous pouvons aisément déterminer que le bâtiment du 2, rue Mascoinat est un bâtiment maçonné. Pour déterminer avec précision la typologie à laquelle ce bâtiment appartient, nous nous référons dans un deuxième temps au tableau de référencement pour l'attribution d'une typologie pour les bâtiments en maçonnerie. Le bâtiment étant situé dans la vieille ville, nous lui attribuons la typologie « Moellons » correspondant au code « M1.1 » ayant pour valeur d'indice de vulnérabilité de base 0,807.

Typologie	Valeurs	Quartiers/Types et périodes de construction	Images	Signes distinctifs
Moellons	0,807	Essentiellement : Vieille Ville / Immeubles collectifs (avant 1949)		Agencement des pierres
Pierres appareillés	0,807	Quartier : Port et Garibaldi / Immeubles collectifs ou maisons individuelles (jusqu'à début XX ^{ème})		Agencement des pierres
Pierres de taille	0,616	Immeubles collectifs ou haussmanniens (avant 1949) / maisons bourgeoises (1830 - début XX ^{ème})		Pierres beaucoup plus travaillées
Planchers avec poutrelles métalliques et maçonnerie	0,722	Essentiellement : Immeubles collectifs (à partir du début du XX ^{ème} siècle)		Présence de ventaux, balcons à forme reconnaissable

↓

$$V_I^*_{(137356646)\text{réel}} = 0,807$$

Illustration 55: Tableau de référencement pour l'attribution d'une typologie pour les bâtiments en maçonnerie

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

- Calcul de l'indice $\Delta V_{Mr\acute{e}el}$

Le bâtiment d'étude étant construit en maçonnerie, nous utilisons le tableau des facteurs aggravants pour les constructions en maçonnerie afin de déterminer le facteur de vulnérabilité associé au bâtiment.

Ainsi, grâce à un travail de terrain et de la rencontre avec des professionnels du bâtiment à Nice, nous pouvons affecter les valeurs aggravantes au bâtiment d'étude comme suit :

Facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie	Facteurs de vulnérabilité		
	Etat d'entretien	Etat d'entretien	B = bon
M = mauvais			+0.04
Nb d'étages		Bas (1 ou 2)	-0,04
		Moyen (3, 4 ou 5)	0
	Haut (6 ou plus)	+0.04	
Irrégularité en plan	Forme (L, C)	Oui	+0.02
		Non	0
	Protubérances	Oui	+0.02
		Non	0
Irrégularité élévation	Saillie	Oui	+0.01
		Non	0
	Retrait	Oui	+0.01
		Non	0
Interaction entre bâtiment	Position dans l'îlot	A = angle	+0.04
		M = milieu	-0.04
		T = tête d'îlot	+0.06
	Différence de hauteur/voisin	Oui	+0.02
		Non	0
	Irrégularité en toiture	Oui	+0.04
		Non	0
	Décalage de plancher	Oui	+0.04
	Transparence - démolition	Oui	+0.04
	Balcons - cheminées	Oui	+0.01
Etages: haut. différente	Oui	+0.04	
	Non	0	

Illustration 56: Valeurs des facteurs aggravants pour les bâtiments en maçonnerie / Application au bâtiment 137356646

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

$$\begin{aligned}
 \text{Ainsi, } \Delta V_{Mth} &= V_{M1} + V_{M2} + V_{M3} + V_{M4} + V_{M5} + V_{M6} + V_{M7} + V_{M8} + V_{M9} + V_{M10} + V_{M11} + V_{M12} + V_{M13} \\
 &= -0,04 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,06 + 0,02 + 0,04 + 0,04 + 0,04 + 0,04 \\
 &= 0,2
 \end{aligned}$$

$$\Delta V_{M(137356646)réel} = 0,2$$

- Calcul de $V_{réel}$

Enfin, par somme du facteur de typologie avec les facteurs aggravants, nous déterminons l'indice de vulnérabilité du bâtiment pour les données réelles :

$$V_I = V_I^* + \Delta V_M = 0,807 + 0,2 = 1,007 \approx 1$$

$$V_{I(137356646)réel} \approx 1$$

A partir des deux indices de vulnérabilité du bâtiment n°137356646 calculés auparavant, nous pouvons tracer les courbes de vulnérabilité correspondantes à partir de la formule suivante :

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

Ainsi, en faisant varier l'intensité du séisme sur l'échelle EMS-98, nous obtenons les courbes de vulnérabilité suivantes :

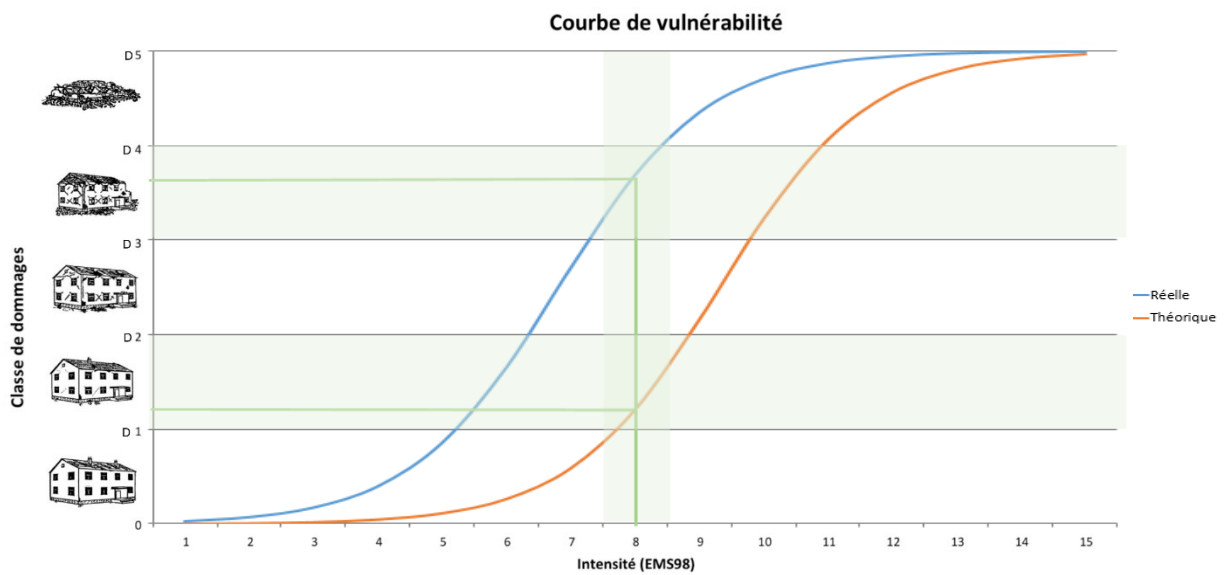


Illustration 57: Courbes de vulnérabilité (valeurs théoriques et réelles) du bâtiment 137356646

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Pour une intensité de 8, un dommage D2 serait affecté au bâtiment en théorie. Un dommage de type D2 correspond à des dégâts structuraux légers et des dégâts non structuraux modérés. A partir des données réelles, c'est un dommage de type D4 qui serait infligé au bâtiment d'étude. Nous avons alors des dommages ayant pour effet des dégâts très importants sur les éléments non structuraux ainsi que des dommages importants sur les éléments structuraux.

En somme, la différence sur les indices de vulnérabilité à partir de données vraiment différentes à une influence non négligeable sur la réponse structurale du bâtiment en cas de séisme.

V. Analyse des données

A partir des calculs précédents, nous avons regroupé les résultats complets de notre étude. Lors de notre travail de terrain, nous avons pu constater une discordance entre certaines données issues des bases de données TOPO et JANNAT, et celles visibles sur le terrain.

1) La concordance des bases de données

Nous avons effectué dans un premier temps une vérification des cinq critères retenus pour notre évaluation de la vulnérabilité du bâti, et ceci pour les 178 bâtiments composant notre échantillon (90 bâtiments principaux et leurs voisins).

Nous pouvons constater, d'après les tableaux ci-dessous, qu'il n'existe pas ou très peu de différence entre les données dites théoriques et celle relevées sur le terrain concernant la position du bâtiment dans l'îlot et le type de connexion.

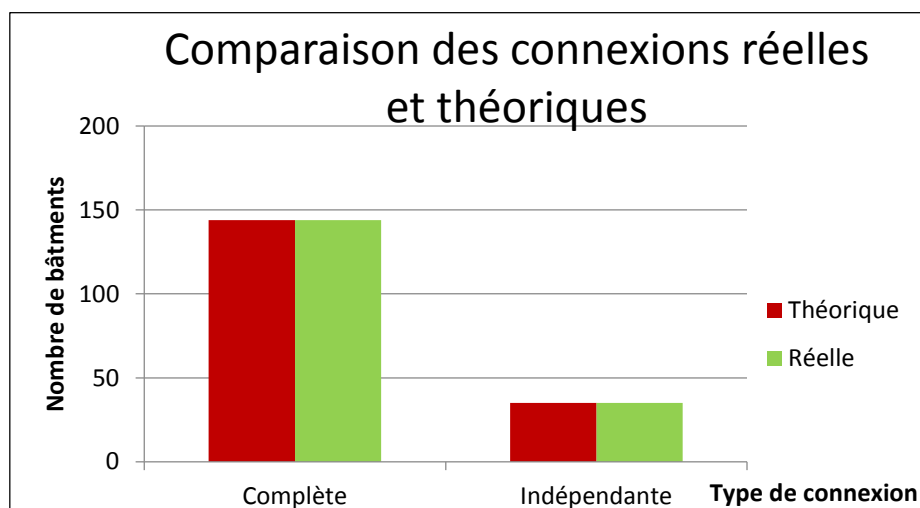


Illustration 58: Graphique de la comparaison de la connexion des bâtiments, données réelles et théoriques

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

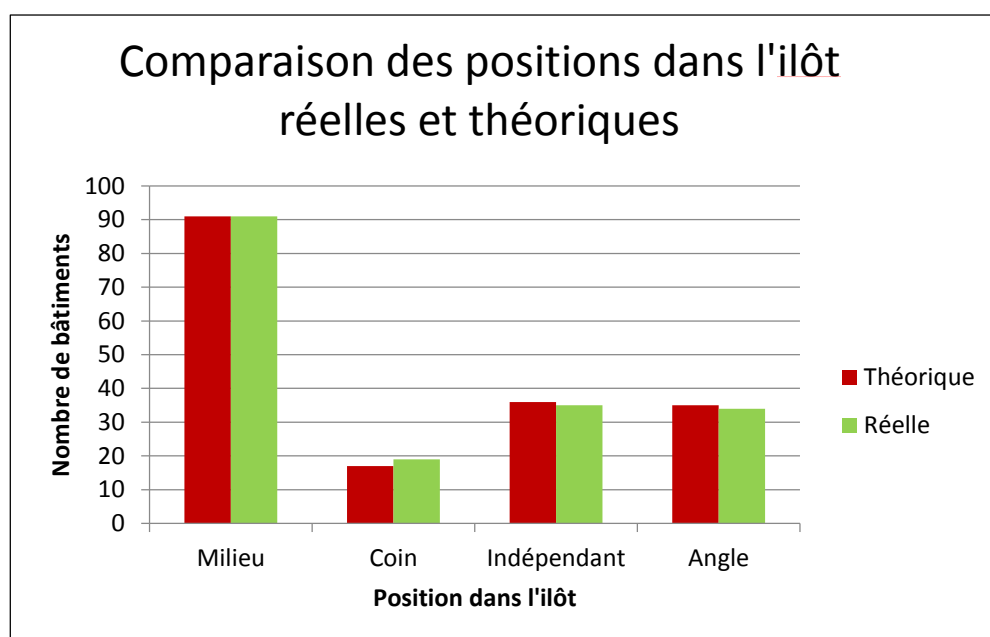


Illustration 59: Graphique de la comparaison de la position dans l'îlot des bâtiments, données réelles et théoriques

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

En revanche, il existe une différence pour le critère « hauteur », environ 8% des bâtiments appartiennent à une classe de hauteur qui est différente de celle présente dans les données théoriques.

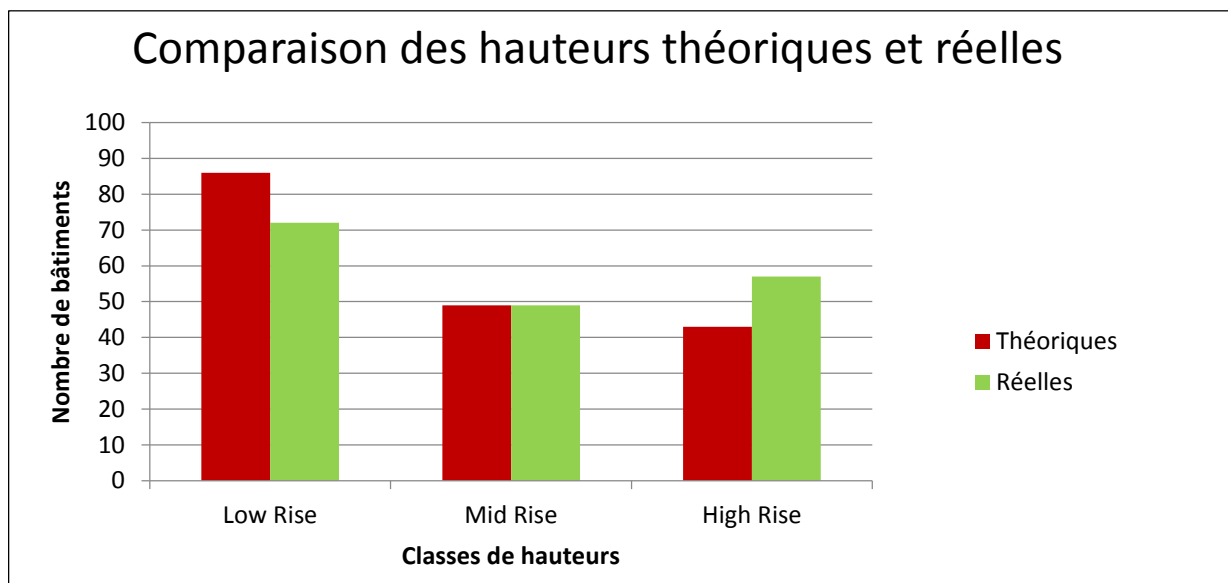


Illustration 60: Graphique de la comparaison de la hauteur du bâtiment, données théoriques et réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

La différence la plus notable est sans aucun doute celle concernant la période de construction et donc indirectement les matériaux de construction.

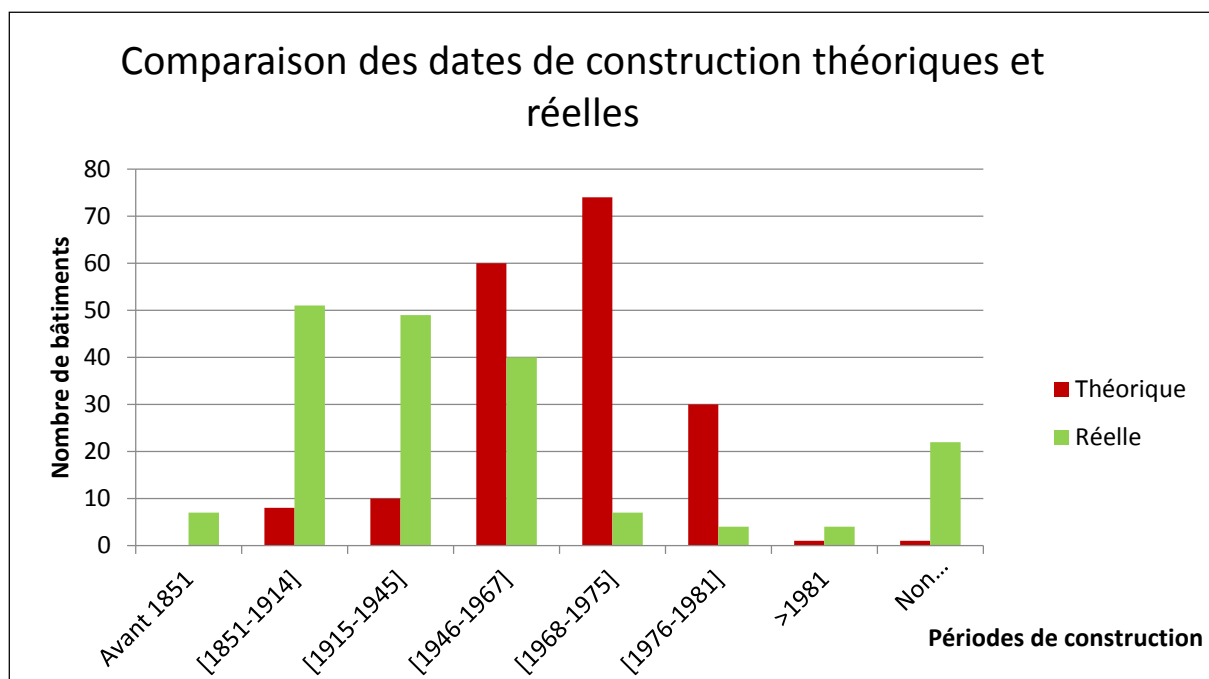


Illustration 61: Graphique de la comparaison des dates de construction des bâtiments, données théoriques et réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

En effet, d'après les données théoriques, la très grande majorité des bâtiments de l'échantillon représentatif de la ville de Nice (à savoir 89% de la liste) a été construite après la Seconde Guerre mondiale, alors qu'en réalité ce ne sont que 42% de l'échantillon d'après les estimations de M. Steve. La majorité des bâtiments date donc d'avant-guerre. De plus, les dates de construction théoriques de chaque bâtiment sont comprises entre 1851 et 1981. Hors il existe en réalité des bâtiments antérieurs à ces dates, notamment dans le vieux Nice. En effet, 7 bâtiments de l'échantillon dateraient du Moyen-Age. Il est à noter cependant que 22 bâtiments n'ont pu être estimés par M. Steve et pourraient donc atténuer légèrement nos résultats.

Concernant le critère « hauteur relative », les observations sur le terrain ont montré une certaine discordance avec les données théoriques. D'après ces dernières, la très grande majorité des bâtiments connexes (125) ne présente pas de hauteur relative. Cependant, d'après nos observations, seulement 73 bâtiments ne possèdent pas de hauteur relative avec ses voisins. On ne considère bien évidemment la hauteur relative que pour les bâtiments connexes.

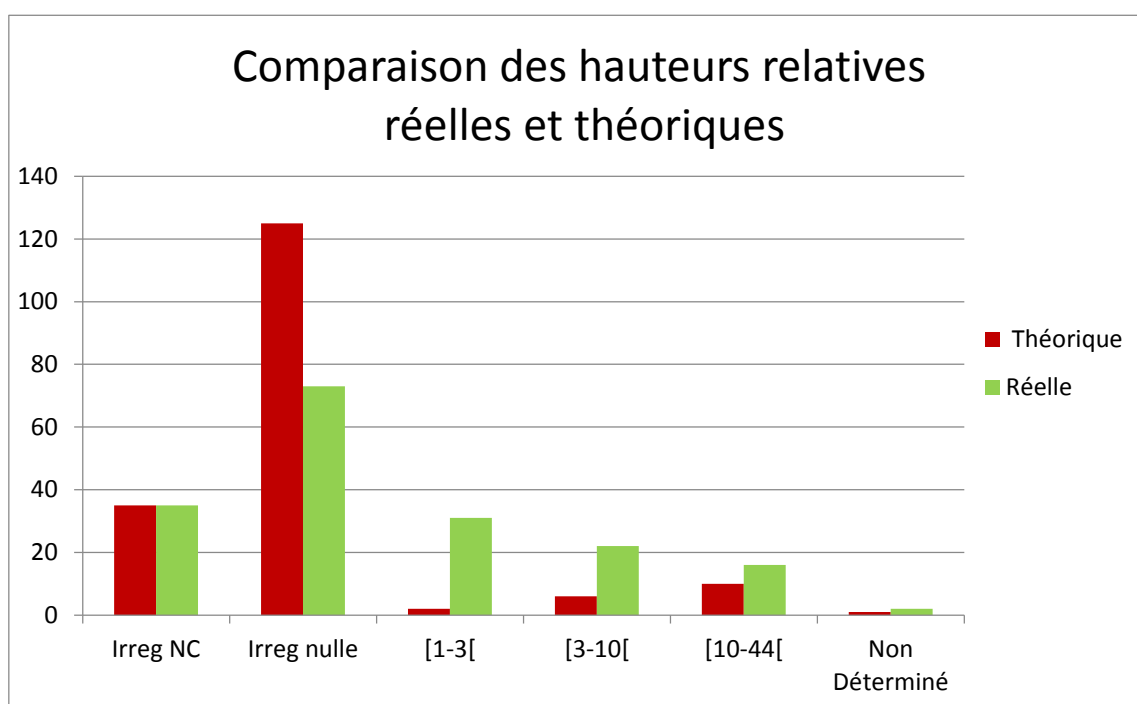


Illustration 62: Graphique de la comparaison des hauteurs relatives entre bâtiments, données théoriques et réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

A la suite de la vérification de ces cinq critères d'évaluation sur le terrain, nous pouvons dire qu'il existe une inexactitude des données présentes dans les bases de données utilisées dans ce travail de recherche. Cette inexactitude concerne les périodes de construction ainsi que les données relevant de la hauteur du bâtiment.

2) L'impact de la différence de données dans l'évaluation du dommage

La méthode Risk-UE précédemment évoquée, ainsi que les différentes modalités d'exécution, l'une pour les données théoriques et l'autre pour celles réelles, nous ont permis de déterminer, dans un premier temps, deux indices de vulnérabilité pour chaque bâtiment.

Nous remarquons, d'après le graphique suivant, que la quasi-totalité des indices de vulnérabilité issus des données théoriques (indices théoriques) se concentrent entre 0,4 et 0,7 alors que ceux issus des données réelles (indices réels) varient entre 0,3 et 1. Les indices de vulnérabilité théoriques se regroupent de manière quasi-totale dans deux classes alors que ceux réels occupent six classes. Cette étendue traduit de l'hétérogénéité du bâti que peut avoir une ville comme Nice, notamment l'hétérogénéité au niveau des dates de construction.

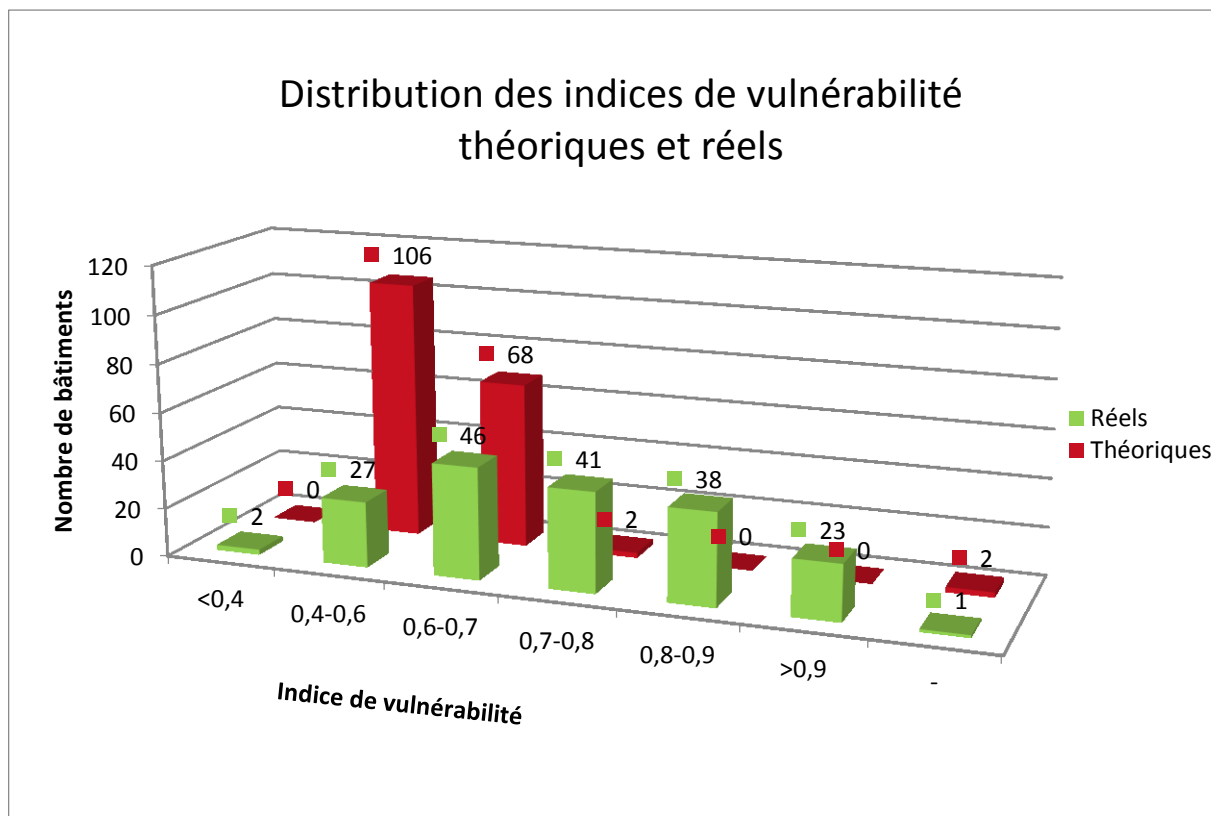


Illustration 63: Graphique de comparaison des indices de vulnérabilité des bâtiments, données théoriques et réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Nous avons aussi mis ces données sous formes de cartes, pour mieux visualiser l'ensemble.

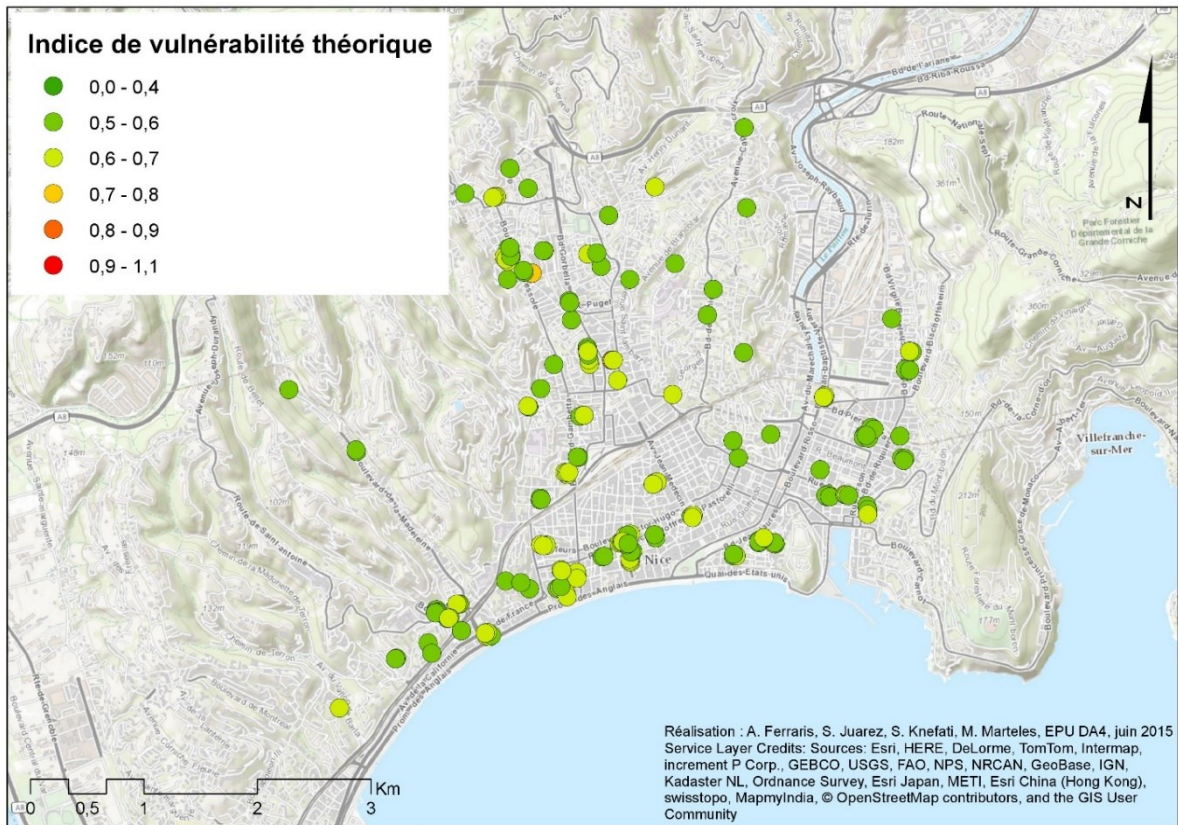


Illustration 64: Carte représentant l'indice de vulnérabilité de chaque bâtiment, données théoriques

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

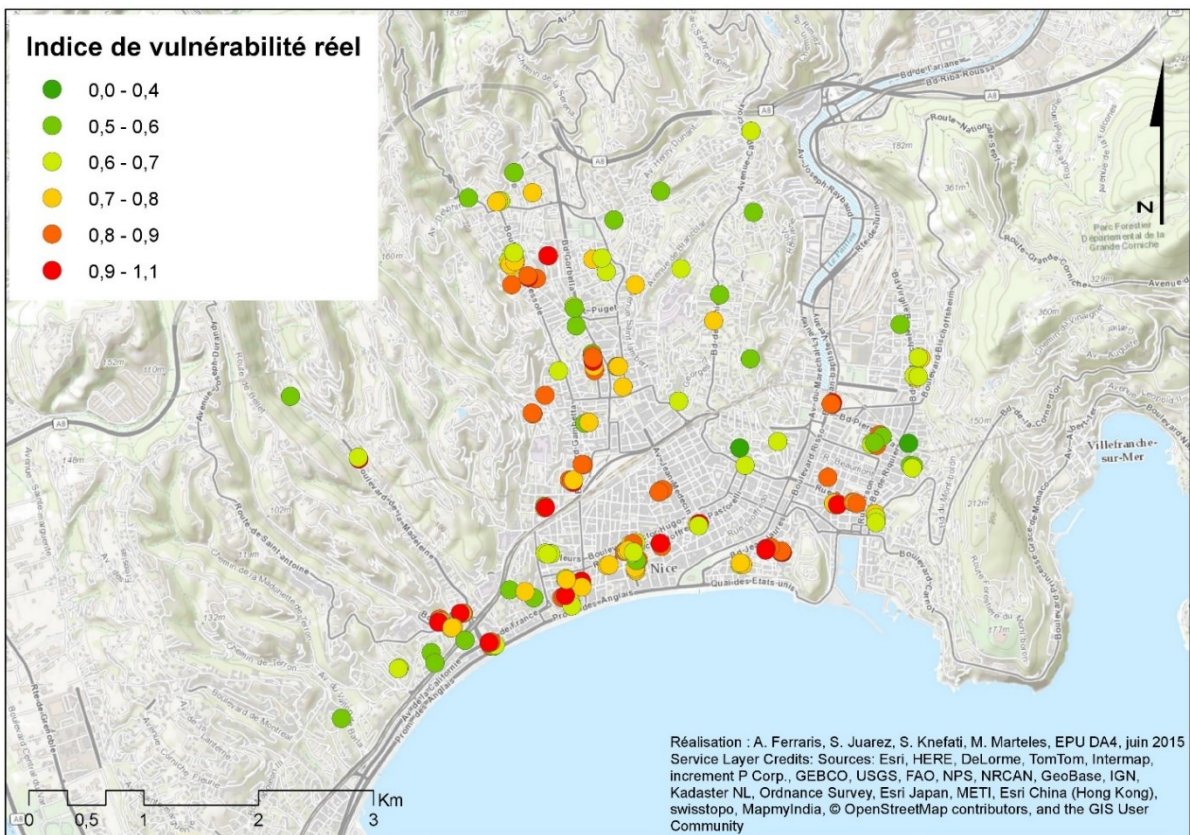


Illustration 65: Carte représentant l'indice de vulnérabilité de chaque bâtiment, données réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

Le calcul de ces indices nous a permis, dans un second temps, d'évaluer le dommage probable pour un séisme donné. Le séisme pris en référence est celui de Ligue 1887. Nous prenons en compte dans le calcul du dommage les effets de site. Pour choisir l'intensité adéquate, nous nous référons à la carte ci-dessous, représentant l'intensité retenue pour chaque secteur homogène tenant compte des effets de sites.

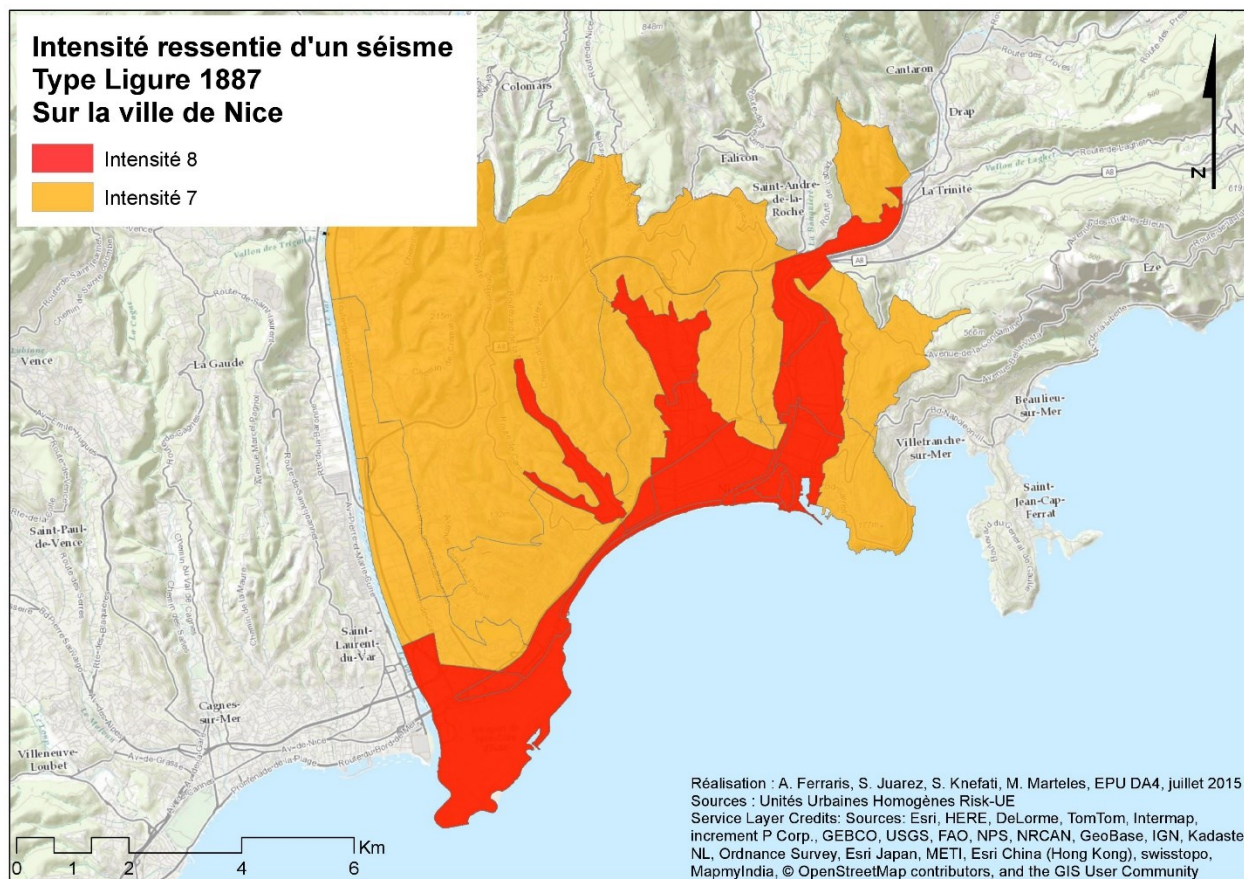


Illustration 66: Carte de l'intensité ressentie sur Nice en cas de séisme type Ligue 1887

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, mai 2015

De ce fait, chaque bâtiment se voit attribuer deux dommages, l'un calculé sur la base de l'indice théorique (dommage théorique) et l'autre à partir de l'indice réel (dommage réel). A la vue du graphique suivant, nous retrouvons également cette différence nette dans la répartition des résultats. En effet, on constate que la totalité des bâtiments (178) ne sont soumis qu'à deux dommages, de degré 1 et degré 2, lorsque nous nous basons sur l'indice de vulnérabilité théorique précédemment calculé. En revanche, lorsque l'on se base sur l'indice de vulnérabilité réel, nous observons différents degrés de dommages, allant jusqu'au degré 4. Si dans le premier cas les dommages observés (D1 et D2) sont définis respectivement selon l'EMS-98 comme un dégât négligeable à léger et un dégât modéré, dans le second cas les dommages observés peuvent être des dégâts importants (D4), avec des dégâts structuraux importants et ceux non structuraux très importants. Il en ressort une différence moyenne d'une classe de dommage entre ceux issus des données théoriques et ceux issus des données réelles. Il existe deux traductions dans la réalité de ces dommages, suivant s'il s'agit d'un bâtiment en maçonnerie ou en béton. D'après l'échelle EMS-98, on observe pour des bâtiments en maçonnerie une « défaillance sérieuse des murs, une défaillance structurale partielle des toits et des planchers ». Concernant les bâtiments en béton, on

peut observer des « fissures importantes dans les éléments structuraux avec défaillance en compression du béton et rupture des barres à haute adhérence, une perte de l'adhérence barres-béton et un basculement des poteaux avec l'écrasement de quelques poteaux ou d'un étage supérieur. » Le dommage D4 concernerait 24 bâtiments, ce qui représente plus de 10% de notre échantillon. Cette étendue des dommages et dégâts possibles reflète là encore l'hétérogénéité du bâti et des différences de comportement du bâti face à une agression sismique.

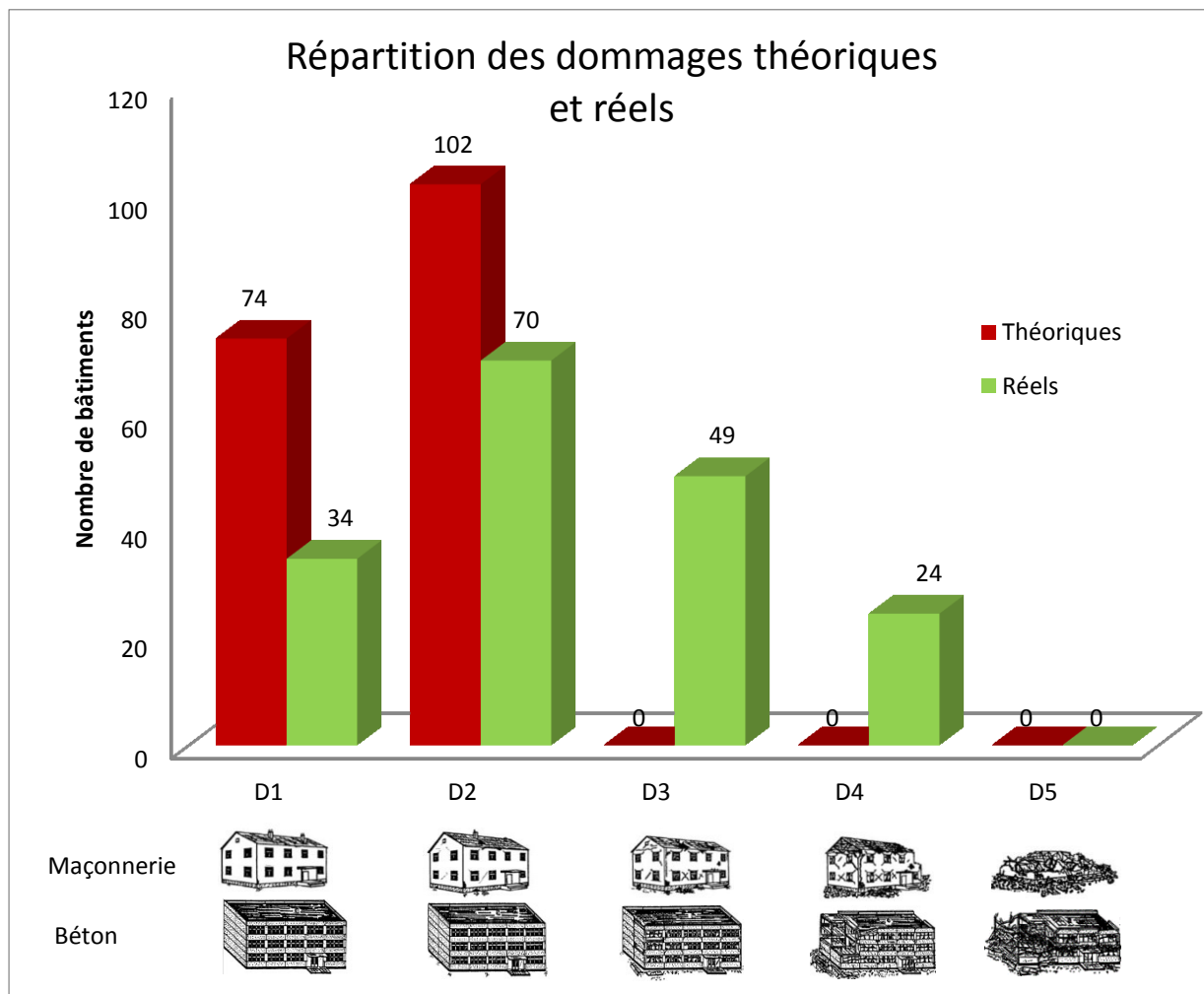


Illustration 67: Graphique des dégâts moyens par bâtiment, données théoriques et réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Nous décidons aussi de représenter ces données sous forme de carte.

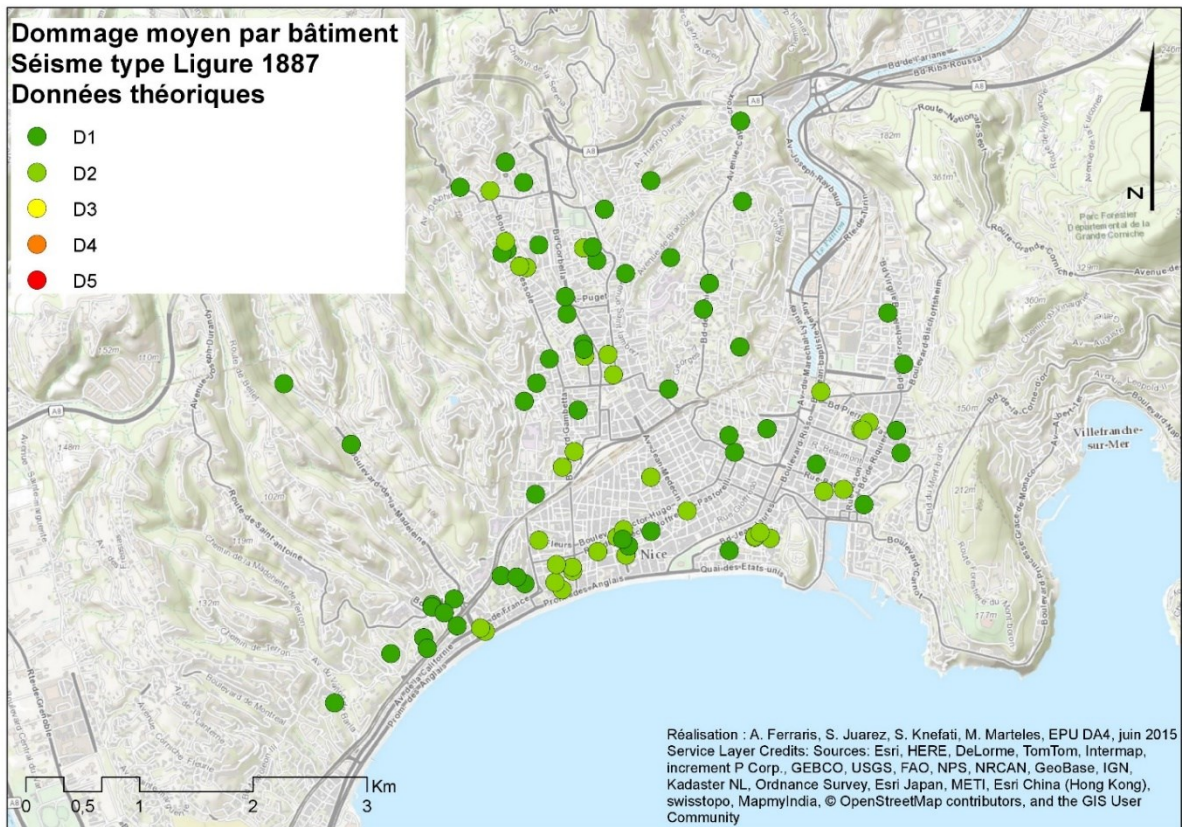


Illustration 68: Carte des dommages moyens par bâtiment, données théoriques

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

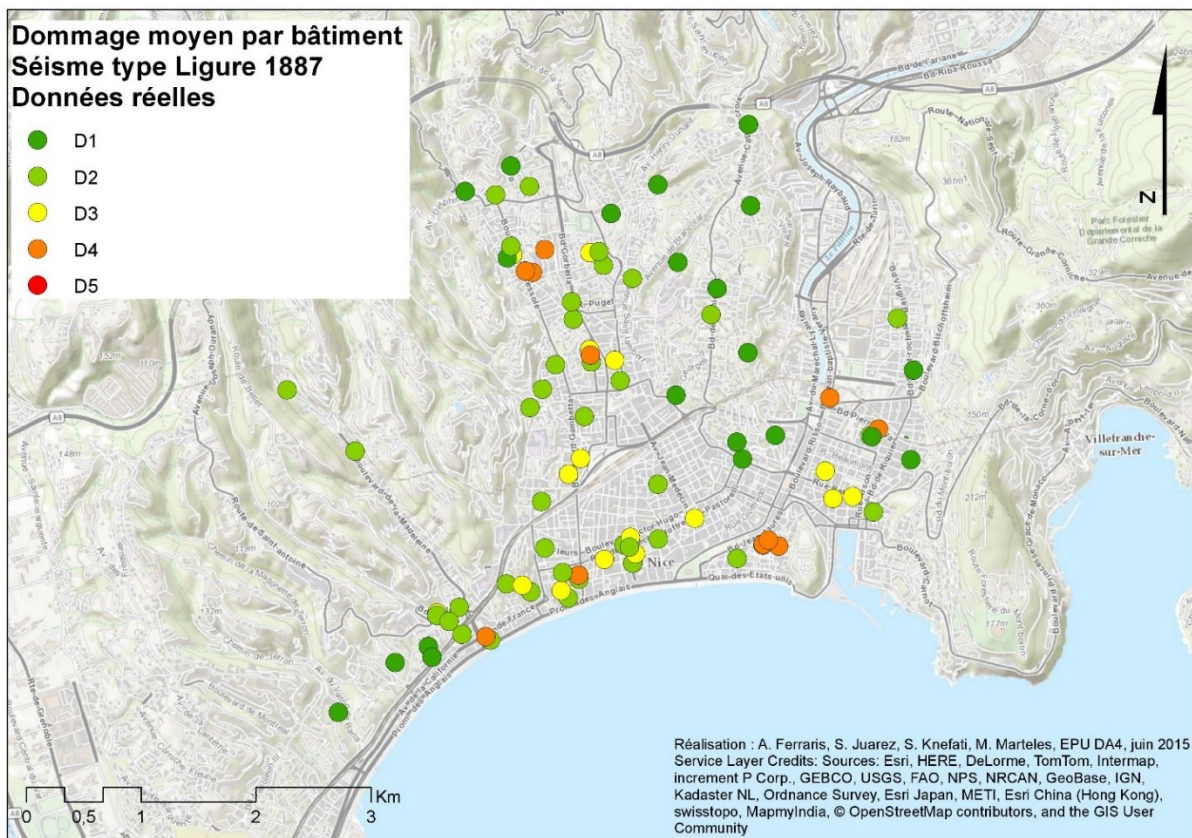


Illustration 69: Carte des dommages moyens par bâtiment, données réelles

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

VI. Généralisation et application

1) Méthodologie mise en place

Nous avons mis en place une méthodologie afin de généraliser les résultats obtenus à toute la ville de Nice. La méthode expliquée ci-après est l'idée initiale, elle a été adaptée au fur et à mesure des problèmes rencontrés.

Le but est de pouvoir faire une évaluation des dommages pour chaque bâtiment de la ville de Nice en cas de séisme d'intensité variable (voir carte des effets de site), comme cela a été fait pour les 178 bâtiments de notre étude.

Nous voulions dans un premier temps séparer la ville en secteurs, et affecter à tout un secteur la même valeur pour les dommages. Il fallait pour cela des secteurs dans lesquels les bâtiments ont à peu près les mêmes caractéristiques. Nous avons choisi de reprendre la sectorisation faite par Risk-UE, qui faisait des secteurs homogènes sur les dates de construction, les modes de fabrication, les matériaux... L'étude avait de plus un certain nombre de données relatives à chaque secteur. Il y avait notamment le pourcentage de construction selon chaque typologie, dans chaque secteur. Il faut cependant noter que tous les secteurs n'ont pas été étudiés à 100%, et que les valeurs du tableau ne concernent que les bâtiments étudiés par le projet. Cela induit déjà une grande incertitude.

	Vieille ville (1)	Bord de mer (2)	Le port - Riquiaz (3)	Mont Bonon (4)	Observatoire (5)	Ariane - Pasteur (6)	Saint Roch - Pasteur (7)	Cimiez Est (8)	Pailhon (9)	Mairie (10)	Cimiez ouest (11)	Nice nord (12)	Las Planas (13)	Pessicart (14)
M11L	2.2%	0.0%	1.7%	1.7%	7.2%	10.3%	0.0%	10.0%	0.0%	0.0%	3.2%	3.3%	0.0%	2.3%
M11M	26.2%	0.0%	5.1%	0.0%	39.6%	1.7%	0.8%	62.7%	0.0%	0.0%	5.1%	3.3%	5.0%	0.0%
M11H	68.1%	0.0%	9.3%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	7.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
M13L	0.0%	0.0%	1.7%	4.2%	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	1.4%	1.9%	2.0%	0.0%	1.2%
M13M	0.2%	1.0%	3.4%	0.8%	0.0%	0.0%	1.6%	0.9%	0.0%	0.0%	3.8%	4.0%	0.0%	0.6%
M13H	0.0%	1.0%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%
M31L	0.4%	10.1%	11.9%	25.2%	4.3%	0.0%	20.3%	0.0%	0.0%	71.0%	17.1%	22.5%	0.0%	26.0%
M31M	0.0%	13.1%	15.3%	31.1%	8.6%	0.0%	23.6%	0.0%	0.0%	14.5%	27.2%	9.9%	0.0%	28.3%
M31H	0.4%	8.1%	25.4%	4.2%	0.0%	0.0%	1.6%	0.0%	0.0%	13.0%	2.5%	2.0%	0.0%	0.6%
M32L	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	0.0%
M32M	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%
M32H	0.0%	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
M4L	0.0%	0.0%	0.0%	4.2%	5.0%	9.4%	2.4%	0.0%	0.0%	0.0%	8.2%	11.3%	2.5%	16.2%
M4M	0.0%	1.0%	0.0%	5.9%	18.0%	17.9%	4.9%	0.0%	0.0%	0.0%	8.9%	10.6%	6.3%	7.5%
M4H	0.2%	3.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.6%
RC1L lc	0.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	2.6%	0.0%	0.0%	7.7%	0.0%	0.6%	0.0%	1.3%	0.0%
RC1M lc	0.9%	0.0%	0.8%	0.0%	2.9%	0.0%	0.0%	10.0%	0.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC1H lc	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%	0.9%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC2L lc	0.0%	1.0%	0.0%	3.4%	0.0%	0.0%	8.1%	0.0%	0.0%	0.0%	1.9%	2.6%	5.0%	1.2%
RC2M lc	0.0%	29.3%	8.5%	10.9%	0.0%	0.0%	8.1%	2.7%	0.0%	0.0%	12.7%	15.9%	6.3%	6.4%
RC2H lc	0.0%	17.2%	6.8%	0.0%	0.0%	4.3%	12.2%	0.9%	0.0%	0.0%	1.3%	2.5%	0.0%	0.0%
RC3L lc	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.3%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%
RC3M lc	0.0%	5.1%	0.8%	0.0%	1.4%	5.1%	0.8%	0.9%	7.7%	0.0%	0.8%	0.0%	6.3%	0.0%
RC3H lc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC4L lc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%	2.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.5%	0.0%
RC4M lc	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	2.9%	6.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	37.5%	0.0%
RC4H lc	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.7%	12.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.3%	0.0%
S1L lc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	23.1%	0.0%	0.0%	0.0%
S2L lc	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%
S3L lc	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%
WL lc	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%
RC1L mc	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC1M mc	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC1H mc	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC2L mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	0.0%	1.7%	0.0%
RC2M mc	0.0%	1.0%	3.4%	3.4%	0.0%	0.0%	4.1%	0.0%	0.0%	3.8%	8.6%	0.0%	5.8%	0.0%
RC2H mc	0.0%	5.1%	1.7%	1.7%	0.0%	0.0%	6.5%	0.0%	0.0%	0.6%	0.7%	0.0%	1.2%	0.0%
RC3L mc	0.2%	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%
RC3M mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
RC4L mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	0.0%	0.0%	7.7%	0.0%	0.0%	0.0%	3.8%	0.0%
RC4M mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	38.5%	0.0%	0.0%	0.0%
S1L mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
S2L mc	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
S3H mc	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%
S3L mc	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%

Illustration 70: Les pourcentages de chaque typologie dans chaque secteur de Nice

Source : BRGM, Projet européen Risk-UE : application à la ville de Nice, septembre 2004

Notre idée grâce à ça était de donner une valeur au secteur tout en tenant compte de ce dont il est constitué. Nous avons, lors de notre étude, associé à chaque typologie un indice de vulnérabilité, moyenne des indices de vulnérabilité de cette typologie de bâtiments parmi les 178 de notre liste initiale.

Type	Indice de vulnérabilité moyen
M1.1	0,905181818
M1.2	0,869045455
M1.3	0,674
M3.1	0,716
M3.3	0,762571429
RC1	0,632
RC3.1	0,634
RC3.2	0,612
RC4	0,566
RC5	0,604638298

Illustration 71: Les indices de vulnérabilité moyens par typologie

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juin 2015

Ainsi, nous avons d'un côté les typologies présentes dans chaque secteur, avec le pourcentage qu'elles y représentent, et d'un autre côté l'indice de vulnérabilité associé à chaque typologie. Finalement, nous avons fait une moyenne pondérée pour associer à chaque secteur un indice de vulnérabilité moyen.

Par exemple, prenons un secteur, dans lequel il y a 50% de bâtiments de typologie M1.3, 32% de bâtiments de typologie RC1, et aussi 18% de bâtiments de typologie RC4.

Nous faisons le calcul suivant pour lui attribuer un indice :

$$\begin{aligned}
 V_i &= 0.5 * V_i(M1.3) + 0.32 * V_i(RC1) + 0.18 * V_i(RC4) \\
 &= 0.5 * 0.674 + 0.32 * 0.632 + 0.18 * 0.566 \\
 &= 0.641
 \end{aligned}$$

2) Problèmes rencontrés

Le premier problème que nous rencontrons est que toutes les typologies rencontrées dans l'étude Risk-UE (tableau) n'ont pas été traitées dans notre travail. Il y a dans ce cas les typologies : M3.2, M4, RC2, S1, S2, S2 et W. Nous décidons alors de considérer l'indice de vulnérabilité de typologie correspondant, c'est-à-dire :

M3.2 : 0.776
 M4 : 0.45
 RC2 : 0.386
 S1 : 0.363
 S2 : 0.287
 S3 : 0.484
 W : 0.447

Pour intégrer une idée de facteur aggravant à chacun, nous faisons la moyenne des facteurs aggravants des 178 bâtiments que nous avons étudiés, en faisant la différence entre ceux pour les bâtiments en maçonnerie et ceux pour les bâtiments en béton armé et acier. Nous obtenons une

moyenne de +0.202 pour les bâtiments en béton armé et acier, et +0.0606 pour les bâtiments en maçonnerie.

M3.2 : 0.836

M4 : 0.51

RC2 : 0.588

S1 : 0.565

S2 : 0.489

S3 : 0.686

W : 0.508

Nous nous rendons aussi compte que nous avons fait une nuance entre RC3.1 et RC3.2 dans notre étude, différence qui n'est pas prise en compte dans le tableau des typologies sur Nice, avec la valeur pour un RC3 général. Nous faisons donc la moyenne de RC3.1 et RC3.2. Donc RC3 : 0.640.

Finalement, nous voyons qu'il y a dans l'étude Risk-UE à Nice une différenciation entre les bâtiments à code bas et code moyen, ainsi que pour les hauteurs (low, medium et high). Étant donné que tout était mélangé dans notre étude, nous additionnons directement toutes les nuances pour avoir le pourcentage de représentation d'une typologie. Par exemple, dans le secteur 23 pour la typologie RC4, il y a :

Code bas : Low : 1.4%
 Medium : 24.7%
 High : 1.4%

Code moyen : Low : 1.4%
 Medium : 5.5%
 High : 1.4%

Dans notre calcul, nous allons donc prendre pour RC4 : $1.4 + 24.7 + 1.4 + 1.4 + 5.5 + 1.4 = 35.8\%$.

3) Résultats et limites

Nous avons commencé par entrer dans un document Excel le pourcentage de représentation de chaque typologie, ainsi que les valeurs des indices de vulnérabilité pour chaque typologie. Le tableur fait automatiquement le calcul de l'indice de vulnérabilité moyen par secteur, une fois la formule définie.

Après avoir entré l'intensité de séisme à considérer pour chaque secteur, nous appliquons la formule qui donne les dommages moyens.

Nous obtenons un dommage moyen maximal pour se secteur de la vieille ville, qui entre dans la classe D4. Tous les autres secteurs restent en classes D1 ou D2.

Nous faisons pour ce travail une représentation des résultats sous forme de carte.

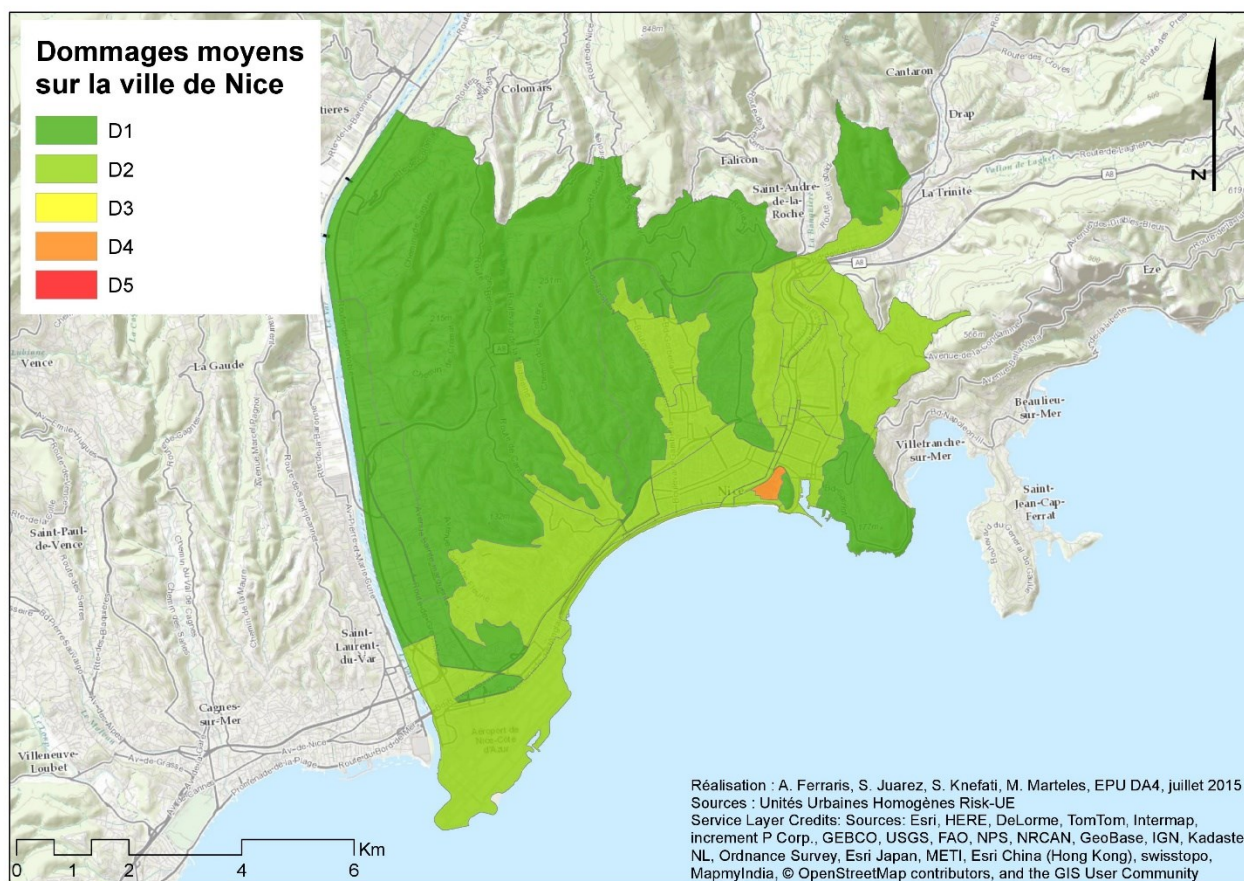


Illustration 72: Carte de la généralisation des dommages sur Nice

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juillet 2015

Notre généralisation, bien que résultant d'une méthode plutôt recherchée, reste très imprécise et donne des résultats peu convaincants (il est difficile de croire que la vieille ville n'aura quasiment pas de dommages). Notre méthodologie cumule des manques de précision à toutes les étapes :

- La partie faite avec les pourcentages de typologies par secteur du projet Risk-UE : bien que la vieille ville ait été étudiée à 100%, il y a des secteurs où 7% des bâtiments ont été étudiés.
- La partie faite avec nos relevés de terrain et analyses : nous n'avons étudié que 178 bâtiments sur toute la ville. De plus, notre travail n'a pas du tout été découpé sur les secteurs de Risk-UE, et nous l'appliquons à cette découpe de Nice.
- Là où Risk-UE distingue les codes bas et moyens ainsi que les hauteurs de bâtiments nous avons tout mis ensemble.
- La partie où nous faisons une moyenne des facteurs aggravants pour ajouter à ceux dont nous ne savons rien : cela revient d'une part au problème de notre étude qui est sur toute la ville et la généralisation qui est faite par secteurs (les spécificités des quartiers font que l'on peut difficilement mettre la même chose partout). D'autre part, l'idée d'en faire une moyenne n'est pas idéale mais conviendrait. Ici, nous faisons une moyenne sur 178 bâtiments, à appliquer sur plus de 55 000 bâtiments, cela semble très insuffisant.

Malgré des manques certains dans notre travail, nous souhaitons tout de même lui trouver

une application. C'est pourquoi nous allons reprendre le travail d'un atelier¹ de Polytech Tours sur le calcul du nombre de sans-abris en cas de séismes, avec nos chiffres.

4) Application : calcul du nombre de sans abris

Cette application que nous souhaitons faire est un calcul similaire à celui fait par l'atelier : nous reprenons la même méthode mais prenons une base de données de dommages en cas de séisme différente. Le travail précédent considérait les deux séismes généralement pris par le BRGM, et les études sur les dommages faits aussi par le BRGM. La différence majeure va donc être ici la façon de calculer les dommages, étant donné que nous reprenons notre propre travail.

Nous reprenons le découpage de Risk-UE, et trouvons aussi le nombre de personnes par secteur. L'idée ensuite est de multiplier la population par secteur avec le taux de bâtiments subissant des dommages de classes D3, D4 et D5. Grâce à notre travail de généralisation, nous avons rapidement la donnée du pourcentage de bâtiments dans chaque classe. L'exemple suivant fait par l'atelier va détailler la suite du calcul.

Quartier	Population du quartier	Pourcentage bâtiment en D3	Pourcentage bâtiment en D4	Pourcentage bâtiment en D5	Population sans-abris
Madeleine (Q24)	10 736	20,93	12,86	3,34	3986
St-Marguerite (Q56)	2954	6,53	2,83	0,56	293

Ex : Nombre de sans-abris Madeleine = $(30,93 + 12,86 + 3,34) / 100 \times 10\ 736 = 3986$.

Illustration 73: Exemple de calcul du nombre de sans-abris dans un secteur

Réalisation : M. Cadoul, T. Desmedt, C. Fontaine, J. Lecoutere, N. Noel, Atelier Plan d'évacuation interne de la ville de Nice face au risque sismique, EPU DA5, 2015

Nous refaisons une carte pour visualiser le nombre de sans-abris par secteur.

¹ M. Cadoul, T. Desmedt, C. Fontaine, J. Lecoutere, N. Noel, *Atelier Plan d'évacuation interne de la ville de Nice face au risque sismique*, EPU DA5, 2015

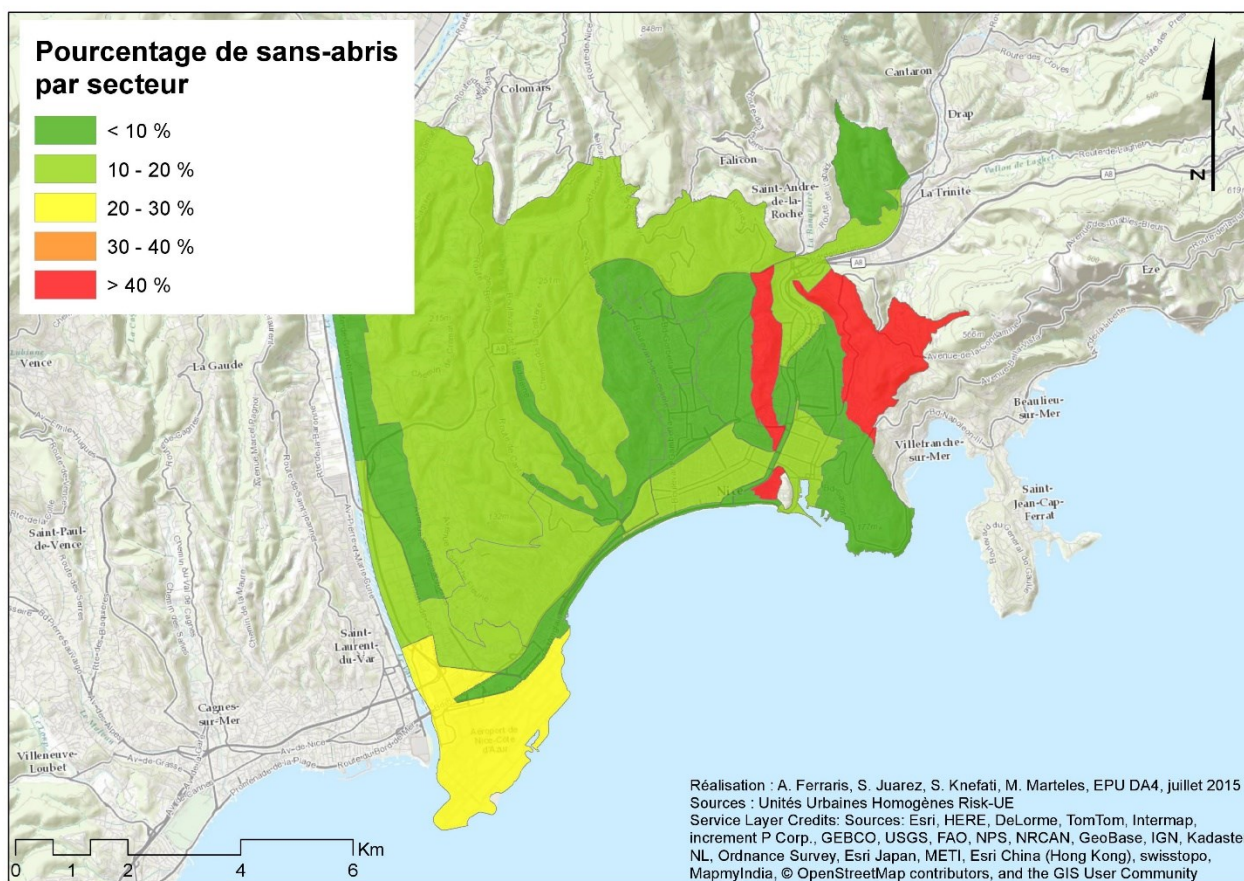


Illustration 74: Carte du pourcentage de sans-abris à la suite d'un séisme, par secteur

Réalisation : Stage collectif Nice 2015, juillet 2015

Nous remarquons qu'il y a trois secteurs dans lesquels plus de 40 % de la population se retrouve sans-abri : la Vieille Ville (96.5%), Cimiez Est (80%) et l'Observatoire (47.5%). Nous trouvons au total qu'il y a environ 40 000 sans-abris après un tel séisme.

De tels chiffres sont à nuancer, de par la source des données de nos calculs. La donnée principale de pourcentage de chaque typologie par secteur provient de Risk-UE, qui n'a pas étudié les secteurs dans leur ensemble (par exemple, le secteur Cimiez Est a été inspecté à 8%). Ceci induit déjà une grande erreur, et parvient en partie à expliquer la différence du nombre de sans-abris total de notre étude et de l'atelier que nous reprenons. Le travail d'atelier avait trouvé plus de 120 000 sans-abris, et avait mis en place une technique différente, qui prenait place sur des quartiers plus petits que nos secteurs.

Malgré des incertitudes cumulées (nous reprenons celles de la généralisation), nous avons réussi à mettre en place une méthode relativement simple de calcul du nombre de personnes perdant leur logement. Avec des données de base plus précises, la méthode peut certainement être réutilisée par les pouvoirs publics pour anticiper sur des événements avec tant de conséquences.

Conclusion

La ville de Nice constitue un remarquable site d'étude pour les travaux traitant des phénomènes sismiques. En effet, la forte densité de population de cette ville ainsi que son caractère économique (2^{ème} pôle touristique de France) sont d'autant d'enjeux qui font de la ville un sérieux terrain d'étude dans l'évaluation du risque sismique et des impacts directs et indirects causés par ces phénomènes. Notre stage s'inscrit dans un projet de recherche portant sur l'évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique et la mise en place d'une nouvelle méthode d'évaluation.

La vulnérabilité, dans ce travail, se définit comme une caractéristique intrinsèque du bâti, une notion qualitative que l'on cherche à traduire quantitativement sous la forme de dégâts. De nombreux travaux ont déjà défini des méthodes visant à l'évaluation de cette notion, ont proposé des échelles de façon à pouvoir les comparer. Il existe deux grands types de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique, les méthodes empiriques et analytiques. Dans le premier cas, les méthodes reposent sur des données collectées lors de retours d'expérience, après séismes. Ces données ont permis la construction de méthodes basées sur les statistiques. Elles s'appliquent généralement à l'échelle urbaine, à l'échelle d'une ville entière (HAZUS, Risk-UE, EMS-98). En revanche, le deuxième grand type de méthodes, les méthodes analytiques, s'appliquent à l'échelle du bâti individuel. Elles s'appuient sur les caractéristiques structurales et mécaniques d'un bâtiment à l'aide de modèles numériques plus ou moins sophistiqués (push-over, tremuri). Ces méthodes diffèrent dans leur construction mais également dans les moyens mis en place pour leur réalisation. La question de l'échelle est aussi très présente et reflète la complexité dans la mise en place de méthode d'évaluation toujours plus précise.

Notre travail s'intègre dans un programme de recherche visant à élaborer une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité du bâti à travers des méthodes analytiques (utilisation du logiciel TREMURI) tout en prenant en compte son environnement immédiat. Afin de tester cette méthode, nous nous sommes basées sur un échantillon représentatif du bâti de la ville de Nice. Cet échantillon comprend 90 bâtiments dits « principaux » ainsi que leurs voisins directs pour former un échantillon de 178 bâtiments. La création de cet échantillon se base sur un échantillonnage aléatoire stratifié à partir de 5 critères retenus pour leur influence sur le comportement du bâti en cas de séisme. On retrouve la date de construction, la hauteur du bâtiment, la position du bâtiment au sein de l'agrégat, la connexité inter-bâtiment et enfin la hauteur relative entre deux bâtiments. Ces critères représentent donc les données d'entrées retenues dans la construction de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité.

Notre travail nous a amené à comparer la méthode à proprement dit. Pour cela, nous avons évalué la vulnérabilité de chaque bâtiment présent au sein de l'échantillon à travers une méthode empirique, la méthode mise en place lors de l'étude Risk-UE. Ces résultats seront ensuite comparés ultérieurement à ceux produits par le modèle analytique mis en place à partir des modèles numériques créés à partir des observations de terrain. Cependant, une très grande partie de notre travail nous a conduites à évaluer l'impact des données d'entrées, à savoir les cinq critères, dans l'évaluation de la vulnérabilité du bâti et des dommages causés. Nous avons ainsi calculé la vulnérabilité à travers la méthode Risk-UE en prenant les critères issus des bases de données (BD-TOPO, JANNAT, OSM) ainsi que les critères issus de nos observations sur le terrain. La méthode Risk-UE repose sur le calcul d'un indice de vulnérabilité qui dépend des matériaux de construction et de

facteurs dits « aggravants », tels que la hauteur du bâtiment par exemple. A partir de cet indice, nous pouvons déterminer les dommages possibles pour un séisme d'intensité donnée. Nous situons le degré de dommage auquel il appartient sur l'échelle mis en place par l'EMS-98. La désignation des dégâts possibles constitue la clef de comparaison entre les indices de vulnérabilité issus des critères des bases de données et ceux issus des observations de terrain. Les dommages qui sont classés sur une échelle déterminée par l'EMS-98 et pris en référence en Europe sont en quelque sorte la traduction visible du séisme. Nous avons pu mettre en évidence l'existence d'une réelle différence entre les critères issus des bases de données et ceux observés sur le terrain. Cette différence se retrouve également dans les calculs des dommages, se traduisant dans certains cas par un écart de deux classes de dommages. Néanmoins, il est important de souligner que les indices de vulnérabilité issus des critères observés sur le terrain, et qui se veulent les plus conformes à la réalité relèvent de nos observations et de notre analyse ultérieure. Ces données peuvent alors être qualifiées de subjectives.

En revanche, cette étude démontre l'impact direct de l'utilisation de données d'entrée erronées dans la mise en application des méthodes. Si une méthode paraît plus juste et au plus près de la réalité en prenant en compte de plus en plus de facteurs influents, la mise en application reste primordiale dans la justesse des résultats et ne doit pas être négligée. La véracité des bases de données et leur mise à jour constituent à l'heure actuelle un enjeu majeur dans la connaissance des territoires et dans leur utilisation quel que soit le domaine d'étude ou de recherche.

Finalement, notre travail sur un échantillon nous a poussés à vouloir généraliser les résultats et les rendre applicables sur tous les bâtiments de la ville de Nice. Une étude bâtiment par bâtiment n'étant pas possible, nous avons séparé la ville en secteurs auxquels nous avons attribué un dommage moyen. Aussi, la lecture d'un rapport de travail d'atelier sur l'évacuation de la ville en cas de séisme, et notamment le calcul du nombre de personnes perdant leur logement, nous a fait terminer notre rapport sur un nouveau calcul des sans-abris en cas de séisme (type Ligure 1887), cette fois-ci avec nos propres données.

Les résultats généraux de notre étude sont relativement alarmants. Il faut cependant les nuancer quelque peu, les bases de données n'étant pas fiables. Cette étude est faite dans le même but que les autres projets faits sur le sujet à Nice : sensibiliser les acteurs locaux à la question, et les pousser à anticiper. Ils doivent donc prendre les résultats de toutes les études, appliquer leurs méthodes en évaluant le plus de bâtiments possible, et agir en fonction.

Table des illustrations

ILLUSTRATION 1: CARTE DE LA SITUATION DES ALPES-MARITIMES ET DE NICE EN FRANCE	8
ILLUSTRATION 2: CARTE DU RELIEF DE NICE	9
ILLUSTRATION 3: CARTE DES DIFFERENTES PERIODES DE CONSTRUCTION A NICE	10
ILLUSTRATION 4: CARTE DU ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE	11
ILLUSTRATION 5: LES DIFFERENTES ETUDES SUR LE RISQUE SISMIQUE A NICE	13
ILLUSTRATION 6: MICROZONAGE SISMIQUE DE LA VILLE, ET SPECTRES DE REPONSES ASSOCIES	17
ILLUSTRATION 7: SIGNIFICATION PHYSIQUE DE LA COURBE PUSHOVER	18
ILLUSTRATION 8: COURBE DE CAPACITE TYPE D'UN BATIMENT	19
ILLUSTRATION 9: SIGNIFICATION PHYSIQUE DE LA COURBE PUSHOVER	19
ILLUSTRATION 10: SCHEMA DU BATIMENT EXPERIMENTAL ET DU MODELE TREMURI	20
ILLUSTRATION 11: ÉLABORATION D'UNE TYPOLOGIE PROPRE AUX AÇORES	22
ILLUSTRATION 12: COURBES DE VULNERABILITE	23
ILLUSTRATION 13: LES CLASSES DE DOMMAGES DE L'EMS-98	24
ILLUSTRATION 14: EFFETS D'UN SEISME SUR UN BATIMENT EN MAÇONNERIE, EN FONCTION DE DIFFERENTES INTENSITES	25
ILLUSTRATION 15 : PARAMETERS AND WEIGHTS TO EVALUATE THE VULNERABILITY INDEX OF THE AZORES ISLANDS' BUILDING STOCK	26
ILLUSTRATION 16: EXEMPLE DE COURBES DE FRAGILITE POUR CHAQUE NIVEAU D'ENDOMMAGEMENT	27
ILLUSTRATION 17: CARTE DES UNITES URBAINES DE NICE	28
ILLUSTRATION 18: CARTE DE L'EVALUATION DES PROBABILITES DE DOMMAGES D4 ET D5 POUR UN SEISME DE SCENARIO PROBABILISTE A 475 ANS DE PERIODE DE RETOUR	28
ILLUSTRATION 19: CARTE DE L'EVALUATION DES PROBABILITES DE COMMAGES D4 ET D5 POUR UN SEISME DE SCENARIO TYPE 1887, RELOCALISE A 30 KM DE LA VILLE	28
ILLUSTRATION 20: SITUATION D'UN BATIMENT AU SEIN DE SON ILOT	29
ILLUSTRATION 21: PROCESSUS DE CONSTRUCTION D'UN BATIMENT	29
ILLUSTRATION 22: SYNTHESE DES METHODES D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE DU BATI EN FONCTION DES ECHELLES D'ETUDE ET DES MOYENS MIS EN ŒUVRE	30
ILLUSTRATION 23: LES TYPES DE CONNEXION D'UN BATIMENT	31
ILLUSTRATION 24: POSITION D'UN BATIMENT DANS SON AGREGAT	32
ILLUSTRATION 25: HAUTEUR RELATIVE D'UN BATIMENT	33
ILLUSTRATION 26: NOUS TRAVAILLONS SUR UNE PARTIE COMMUNE AUX DEUX METHODES AVANT DE SEPARER NOTRE ETUDE EN DEUX	34
ILLUSTRATION 27: DIAGRAMME DE GEOTRAITEMENT DE RECHERCHE DES ADRESSES	36
ILLUSTRATION 28: DIAGRAMME DE GEOTRAITEMENT DE RECHERCHE DES BATIMENTS VOISINS	37
ILLUSTRATION 29: EXEMPLE D'UNE FICHE BATIMENT	37
ILLUSTRATION 30: PLAN D'ARCHIVES DU BATIMENT 144210160 ET DESSIN DE LA FAÇADE	39
ILLUSTRATION 31: MODELISATION AUTOCAD DE L'EMPRISE AU SOL DU BATIMENT N°144210157 ET SES VOISINS	39
ILLUSTRATION 32: TABLEAU DE DEFINITION DES TYPOLOGIES CONSIDEREES POUR RISK-UE	40
ILLUSTRATION 33: TABLEAUX D'AJUSTEMENTS DES FACTEURS AGGRAVANTS	41
ILLUSTRATION 34: EXEMPLE DE COURBES DE VULNERABILITE, POUR DES INDICES DE VULNERABILITE DIFFERENTS	42
ILLUSTRATION 35: DEFINITION DES DEGATS, SUR STRUCTURE EN BETON ARME (GAUCHE) ET EN MAÇONNERIE (DROITE)	43
ILLUSTRATION 36: TABLE ATTRIBUTAIRE DE LA COUCHE DU BATI	44
ILLUSTRATION 37: METHODES DE CONSTRUCTION POUR BATIMENTS DE 1851 A 1914	44
ILLUSTRATION 38: METHODES DE CONSTRUCTION POUR BATIMENTS DE 1945 A 1974, EN ROUGE LES ELEMENTS CONSTITUANT DES FACTEURS AGGRAVANTS	45
ILLUSTRATION 39: RETRAIT	46
ILLUSTRATION 40: SAILLIE	46
ILLUSTRATION 41: PROTUBERANCE	46
ILLUSTRATION 42: TRANSPARENCE	47
ILLUSTRATION 43: IRREGULARITES EN PLAN	47
ILLUSTRATION 44: TYPOLOGIES ETUDIEES SUR NICE ET VALEURS V_i^* ASSOCIEES	49
ILLUSTRATION 45: IMMEUBLE COLLECTIF EN MAÇONNERIE	50
ILLUSTRATION 46: MAISON DE LA RECONSTRUCTION 1948-1974	50
ILLUSTRATION 47: PETIT COLLECTIF DIVERS (1975-1981)	51
	76

ILLUSTRATION 48: TABLEAU DE SYNTHESE DES GRANDES CATEGORIES DE CONSTRUCTION	51
ILLUSTRATION 49: TABLEAU DE REFERENCEMENT POUR L'ATTRIBUTION D'UNE TYPOLOGIE POUR LES BATIMENTS EN MAÇONNERIE	52
ILLUSTRATION 50: TABLEAU DE REFERENCEMENT POUR L'ATTRIBUTION D'UNE TYPOLOGIE POUR LES BATIMENTS EN BETON	53
ILLUSTRATION 51: FICHE DU BATIMENT 137356646	54
ILLUSTRATION 52 : TYPOLOGIES ETUDIEES SUR NICE ET VALEURS DE V_i^* ASSOCIEES	55
ILLUSTRATION 53: TECHNIQUES DE CONSTRUCTION DES LOGEMENTS CONSTRUITS ENTRE 1945 ET 1974	55
ILLUSTRATION 54: VALEURS DES FACTEURS AGGRAVANTS POUR LES BATIMENTS EN BETON ARME OU ACIER / APPLICATION AU BATIMENT 137356646	56
ILLUSTRATION 55: TABLEAU DE REFERENCEMENT POUR L'ATTRIBUTION D'UNE TYPOLOGIE POUR LES BATIMENTS EN MAÇONNERIE	57
ILLUSTRATION 56: VALEURS DES FACTEURS AGGRAVANTS POUR LES BATIMENTS EN MAÇONNERIE / APPLICATION AU BATIMENT 137356646	58
ILLUSTRATION 57: COURBES DE VULNERABILITE (VALEURS THEORIQUES ET REELLES) DU BATIMENT 137356646	59
ILLUSTRATION 58: GRAPHIQUE DE LA COMPARAISON DE LA CONNEXION DES BATIMENTS, DONNEES REELLES ET THEORIQUES	60
ILLUSTRATION 59: GRAPHIQUE DE LA COMPARAISON DE LA POSITION DANS L'ILOT DES BATIMENTS, DONNEES REELLES ET THEORIQUES	60
ILLUSTRATION 60: GRAPHIQUE DE LA COMPARAISON DE LA HAUTEUR DU BATIMENT, DONNEES THEORIQUES ET REELLES	61
ILLUSTRATION 61: GRAPHIQUE DE LA COMPARAISON DES DATES DE CONSTRUCTION DES BATIMENTS, DONNEES THEORIQUES ET REELLES	61
ILLUSTRATION 62: GRAPHIQUE DE LA COMPARAISON DES HAUTEURS RELATIVES ENTRE BATIMENTS, DONNEES THEORIQUES ET REELLES	62
ILLUSTRATION 63: GRAPHIQUE DE COMPARAISON DES INDICES DE VULNERABILITE DES BATIMENTS, DONNEES THEORIQUES ET REELLES	63
ILLUSTRATION 64: CARTE REPRESENTANT L'INDICE DE VULNERABILITE DE CHAQUE BATIMENT, DONNEES THEORIQUES	64
ILLUSTRATION 65: CARTE REPRESENTANT L'INDICE DE VULNERABILITE DE CHAQUE BATIMENT, DONNEES REELLES	64
ILLUSTRATION 66: CARTE DE L'INTENSITE RESSENTIE SUR NICE EN CAS DE SEISME TYPE LIGURE 1887	65
ILLUSTRATION 67: GRAPHIQUE DES DEGATS MOYENS PAR BATIMENT, DONNEES THEORIQUES ET REELLES	66
ILLUSTRATION 68: CARTE DES DOMMAGES MOYENS PAR BATIMENT, DONNEES THEORIQUES	67
ILLUSTRATION 69: CARTE DES DOMMAGES MOYENS PAR BATIMENT, DONNEES REELLES	67
ILLUSTRATION 70: LES POURCENTAGES DE CHAQUE TYPOLOGIE DANS CHAQUE SECTEUR DE NICE	68
ILLUSTRATION 71: LES INDICES DE VULNERABILITE MOYENS PAR TYPOLOGIE	69
ILLUSTRATION 72: CARTE DE LA GENERALISATION DES DOMMAGES SUR NICE	71
ILLUSTRATION 73: EXEMPLE DE CALCUL DU NOMBRE DE SANS-ABRIS DANS UN SECTEUR	72
ILLUSTRATION 74: CARTE DU POURCENTAGE DE SANS-ABRIS A LA SUITE D'UN SEISME, PAR SECTEUR	73

Bibliographie

THÈSES

BOUKHALKHAL, S.H. *La Vulnérabilité Sismique*. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene - Alger, 2012.

MICHEL, C. *Vulnérabilité Sismique de l'échelle du bâtiment à celle de la ville - Apport des techniques expérimentales in situ - Application à Grenoble*. Geophysics. Université Joseph Fourier - Grenoble I, 2007.

PERRAULT, M. *Evaluation de la vulnérabilité sismique de bâtiments à partir de mesures in situ*. Earth Sciences. Université de Grenoble, 2013.

RAPPORTS

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits Avant 1800*, Mars 2011.

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits entre 1801 et 1850*, Mars 2011.

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits entre 1851 et 1914*, Mars 2011.

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits entre 1918 et 1939*, Mars 2011.

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits entre 1945 et 1974*, Mars 2011.

APUR. *Analyse de La Performance Thermique Des Logements Parisiens Construits entre 1975 et 2000*, Mars 2011.

BRGM. *Comparaison des méthodes qualitatives d'évaluation de la vulnérabilité des constructions aux séismes*.

(http://www.planseisme.fr/IMG/pdf/comparaison_methodes_vulnerabilite_sommaire.pdf.)

BRGM/RP. *Projet européen RISK-UE : application à la ville de Nice Rapport final [document public]*. Septembre 2004.

BRGM (E. Foerster, Y. Krien), HUA (M. Dandoulaki), MDX (S. Priest, S. Tapsell), T6 ECO (G. Delmonaco, C. Margottini), UNIGE (C. Bonadonna). *Methodologies to assess vulnerability of structural systems*. Ensure project, 2009.

GUÉGUEN, P., PERRUZI, R., MARTIN, C., PODESTA, S., *Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant*. Laboratoire de Geophysique Interne et Tectonophysique Grenoble, Juin 2010.

COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION DE LA VILLE DE NICE. *Le risque sismique à Nice*, 7 avril 2005

CROWLEY H. *Earthquake Risk Assessment: Present Shortcomings and Future Directions*.

FERREIRA, T., VICENTE, R. and VARUM, H. *Vulnerability Assessment of Building Aggregates: Macroseismic A Macroseismic Approach*, 2012.
(http://www.iitk.ac.in/nicee/wcee/article/WCEE2012_3296.pdf.)

FERY, A., LAHRECH, R. *Parc résidentiel francilien fiches de réhabilitations pour des exemples de bâtiments types, proposition de 5 exemples de bâtiments pour 5 fiches de réhabilitation*. CSTB le futur en construction. Juillet 2012.

GARCIA, J-F. *Elaboration d'une méthode d'évaluation de la vulnérabilité sismique des bâtiments*, 2007.
(http://eprints2.insa-strasbourg.fr/309/1/rapport_final_jean_francois_garcia.pdf.)

GUÉGUEN, P. *Vulnérabilité Sismique Du Bâti Existant*. INSTITUT DES SCIENCES DE LA TERRE – GRENOBLE.
(isterre.fr/docrestreint.api/5698/.../pdf/Fiche5-2.pdf.)

GUÉGUEN, P., PERRUZI, R., MARTIN, C., PODESTA, S., *Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité sismique du bâti existant*. Laboratoire de Geophysique Interne et Tectonophysique Grenoble, Juin 2010.

INSTITUT GÉOGRAPHIQUE NATIONAL. *BD TOPO version 2.1*, Octobre 2011.

LAGOMARSINO S., PENNA A., GALASCO A., CATTARI S. *Tremuri program : An equivalent frame model for the nonlinear seismic analysis of masonry buildings*. Engineering Structures 56 (2013) 1787–1799, 2013.

LANG, K. *Seismic vulnerability of existing buildings*. Institute of Structural Engineering Swiss Federal Institute of Technology, Février 2002.

MAIZA Minjid., SEDDIKI, E.M., SERRHINI K. *Mise en œuvre d'une base de données du bâti de Nice et classification des bâtiments*. Février 2014.

MATSUKA, P., CHANUSSOT, J., PATHIER, E., *state of the art on remote sensing for vulnerability and damage assessment on urban context*, Mars 2011.

Ministère de l'égalité, et Ministère de l'écologie. *Diagnostic et renforcement du bâti existant vis à vis du séisme*. Guide de construction parasismique, Mars 2013.
(http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_guide_sismique_DRBE_mars_2013.pdf.)

RAGE 2012. *Analyse détaillée du parc résidentiel existant*. Programme d'accompagnement des professionnels « règles de l'art grenelle environnement 2012 », Janvier 2013
(<http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>)

TEVES-COSTA, P., BARREIRA, E., *Damage scenarios in Lisbon using RISK-UE approach*, Lisboa, 2012.

SITES INTERNET

BRGM. *Glossaire - Le Plan Séisme*.

<http://www.planseisme.fr/spip.php?page=glossaire#gloss163>

RISQUES

<http://www.brgm.fr/activites/risques/risques>.

DICTIONNAIRE

P. Dusserre-Telmon, *Dictionnaire vivant du bâtiment et des travaux publics*, janvier 1998

Annexes

1) Script Python et explication

```
import arcpy, os
arcpy.env.workspace = "C:\Users\Sarah\Desktop\Fin"
l = ""
for i in range(0,89):
    l = ""
    c = arcpy.da.SearchCursor("C:\Users\Sarah\Desktop\Fin\Sarah.gdb\liste90point", "OSM_ID", "FID = "+str(i))
    for row in c:
        l+=str(int(row[0]))
    arcpy.MakeFeatureLayer_management("liste90point", l, "FID = "+str(i))
    arcpy.ApplySymbologyFromLayer_management(l, "liste90point")

mxd=arcpy.mapping.MapDocument("CURRENT")
for lyr in arcpy.mapping.ListLayers(mxd):
    if lyr.name != "World_Topo_Map" and lyr.name != "Basemap" and lyr.name != "Citations":
        #turn off all layers
        lyr.visible = False

for lyr in arcpy.mapping.ListLayers(mxd):
    if lyr.name != "World_Topo_Map" and lyr.name != "Basemap" and lyr.name != "Citations":

        #turn one layer on at a time and export ...
        lyr.visible = True
        arcpy.mapping.ExportToJPEG(mxd, "C:\Users\Sarah\Desktop\Fin\Cartes\\"+ lyr.name + ".jpg",resolution=300)
        arcpy.ExportCAD_conversion(lyr.name,"DWG_R2010","C:\Users\Sarah\Desktop\Fin\CAD\\"+ lyr.name + ".dwg")
        lyr.visible = False
```

Le but de ce script, que nous faisons tourner dans ArcGis, est d'exporter automatiquement la localisation de chaque bâtiment sur la ville de Nice (afin de les insérer dans les fiches bâtiments), et aussi d'exporter les formes au sol de chaque bâtiment.

Les deux premières lignes importent les modules nécessaires et définissent l'environnement de travail.

Nous faisons ensuite une boucle qui va tourner pour les 90 bâtiments. Elle commence par chercher dans liste90point la ligne correspondant au FID. C'est ce FID qui commence à 0 et qui est incrémenté à chaque début de boucle de 1. C'est la première colonne de la table attributaire, et l'élément le plus facile à prendre pour la boucle. Le programme continue en faisant une couche de la ligne qu'il a sélectionnée, à laquelle il applique la symbologie de liste90point (au préalable nous avons symbolisé chaque point par un gros rond rouge).

La seconde boucle for permet au fur et à mesure de la création d'une couche de la rendre invisible, afin de ne pas avoir les points précédents sur la carte. Ceci s'applique pour tout sauf le fond de carte.

Finalement, la dernière couche commence par rendre visible la couche avec le point que l'on veut, puis fait les exports. A la fin des exports elle rend invisible à nouveau le point pour aller faire la suite.

2) Fiche explicative des fiches bâtiments

Photographie(s) du bâtiment d'étude



Localisation du bâtiment au sein de l'agregat



Adresse : 6, rue Rossetti

: oui non
 : oui non

Localisation du bâtiment au sein de Nice



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1946 - 1967 (An : 1962)	An : 1860 ²
Hauteur de construction	Mid-rise (18m)	Mid-rise (15m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Coin	Coin
Hauteur relative	Nulle	[1-3]

ID OSM : 137240888

Plans à disposition

Représentation graphique

N.R Non Renseigné

- Critère ne s'appliquant pas au bâtiment d'étude

r.v. Remodelé vers

Nous avons créé cette fiche afin de mieux expliquer les différents éléments de fiches bâtiments et les abréviations utilisées.


3) Quelques fiches bâtiments

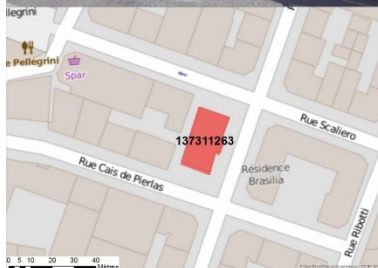
a. Bâtiments principaux



Adresse : 11/13, rue Georges Ville

 : oui non

 : oui non



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1968 - 1975 (An : 1968)	N.R
Hauteur de construction	Low-rise (7m)	Low-rise (7m)
Connexion inter-bâtiments	Indépendante	Indépendante
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Indépendant	Indépendant
Hauteur relative	-	-

ID OSM : 137311263



1 Estimation M. Steve

Adresse : 20, avenue Georges Sand

 : oui non

 : oui non




Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1976 - 1981 (An : 1980)	1910-1932 ¹
Hauteur de construction	Low-rise (11m)	Low-rise (7,5m)
Connexion inter-bâtiments	Indépendante	Indépendante
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Indépendant	Indépendant
Hauteur relative	-	-

ID OSM : 139669930

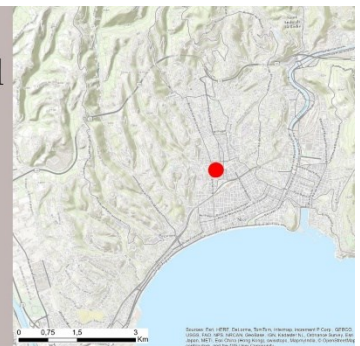


2 Archives municipales de la ville de Nice

Adresse : 38, rue Clément Roassal
Immeuble Grand Provence

 : oui non

 : oui non



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1946 - 1967 (An : 1963)	An : 1953 ²
Hauteur de construction	Low-rise (7m)	Mid-rise (17,5m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Milieu	Milieu
Hauteur relative	Nulle	[10-44]

ID OSM : 144210157

b. Bâtiments voisins



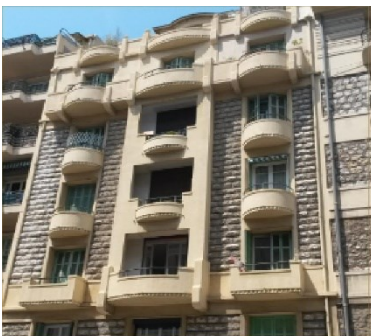
Adresse : 40, rue Clément Roassal

 : oui non
 : oui non





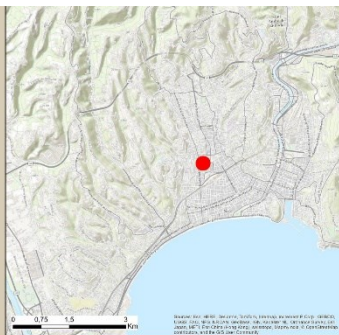
Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1946-1967 (An: 1963)	1950-1960
Hauteur de construction	Low-rise (7m)	Low-rise (5m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Milieu	Milieu
Hauteur relative	Nulle	[10-44[

ID OSM : 144210160



Adresse : 36, rue Clément Roassal

 : oui non
 : oui non



Critères	Données théoriques	Relevé terrain
Période de construction	1946-1967 (An: 1963)	1934 ²
Hauteur de construction	High-rise (23m)	Mid-rise (18m)
Connexion inter-bâtiments	Complète	Complète
Position du bâtiment au sein de l'ilot	Milieu	Milieu
Hauteur relative	[10-44[Nulle

ID OSM : 144210162

² Archives Municipales

35, allée Ferdinand de Lesseps
BP 30 553
37 205 Tours Cedex 3

Sous la direction de :
Kamal Serrhini

Alcine Ferraris
Sophie Juarez
Sarah Knefati
Marjorie Marteles

Stage de groupe
DA4
2015

Évaluation de la vulnérabilité du bâti face au risque sismique

Résumé :

Nice, ville des Alpes-Maritimes (06), est une des villes de France Métropolitaine les plus concernées par le risque sismique. Elle est de ce fait sujette à de nombreuses études sur les séismes et ces conséquences. Un des projets les plus récents dans ce cadre est une étude de l'ANR, le laboratoire CITERES, le BRGM, l'Université de Tours, l'Université de Kaiserslautern et la Ville de Nice. Ce projet comprend deux volets : un sur l'évacuation de la ville en cas de séisme, dont l'étude est aujourd'hui terminée, et un sur l'évaluation de la vulnérabilité du bâti, fait dans sa grande partie dans le cadre d'une thèse. Notre travail vient en complément de la thèse et met en place une nouvelle méthode d'évaluation de la vulnérabilité du bâti.

Pour appliquer la méthode que nous mettons en place après avoir fait un état de l'art sur le sujet, nous construisons un échantillon représentatif de la ville de Nice. Nous évaluons la vulnérabilité grâce à un indice de vulnérabilité, et nous calculons ensuite un dommage moyen sur chaque bâtiment, en prenant pour référence un séisme de type Ligure 1887. Pour pousser notre travail un peu plus loin, nous mettons aussi en place une méthode de généralisation de nos résultats (faits sur échantillon) à toute la ville. Finalement, nous décidons de reprendre un travail fait sur l'évacuation de la ville par d'autres élèves du Département Aménagement et recalculons avec nos précédents résultats le nombre de sans-abris suite à un séisme.

Mots clés : séismes, Nice, vulnérabilité, bâti, généralisation, dommages

Région Provence Alpes Côte d'Azur, Département des Alpes Maritimes (06), Nice